UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Pós-Graduação em Ciências Cartográficas

EDUARDO DE MAGALHÃES BARBOSA

INTEGRIDADE, DISPONIBILIDADE E ACURÁCIA NO POSICIONAMENTO RTK E RTK EM REDE: Investigação no contexto da rede GNSS ativa do Estado de São Paulo

Dissertação de Mestrado

Presidente Prudente
Maio/2010

EDUARDO DE MAGALHÃES BARBOSA

INTEGRIDADE, DISPONIBILIDADE E ACURÁCIA NO POSICIONAMENTO RTK E RTK EM REDE: Investigação no contexto da rede GNSS ativa do Estado de São Paulo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Presidente Prudente, para obtenção do título de Mestre em Ciências Cartográficas.

Orientador: Dr. João Francisco Galera Monico
Co-orientadora: Drª. Daniele Barroca Marra Alves

Presidente Prudente
Maio/2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Presidente Prudente

BANCA EXAMINADORA

PROF. DR. JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO
(ORIENTADOR)

PROF. DR. LEONARDO CASTRO DE OLIVEIRA
(IME)

PROF. DR. MAURO ISSAMU ISHIKAWA
(UNESP/FCT)

EDUARDO DE MAGALHÃES BARBOSA

PRESIDENTE PRUDENTE (SP), 28 DE MAIO DE 2010

RESULTADO: APROVADO

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Seção de Pós-Graduação
Rua Roberto Simonsen, 305 CEP 19060-900 Presidente Prudente SP
Tel 18 229-5352 fax 18 223-4519 posgrad@fct.unesp.br

DADOS CURRICULARES

Eduardo de Magalhães Barbosa

Nascimento	05.02.1979 – Goiânia – GO
Filiação	Mario Januario Barbosa Aliria de Magalhães Barbosa
1998 - 2002	Graduação em Engenharia de Agrimensura pela Universidade Federal de Viçosa
2008 - 2010	Mestrado em Ciências Cartográficas pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP - Presidente Prudente

DEDICATÓRIA

À minha querida noiva, Kiriam, pelo apoio, compreensão e incentivo.

Aos meus estimados pais, Mario e Aliria, que fizeram da educação de seus filhos uma meta de vida e com muito êxito tem cumprido, dando apoio nos momentos certos e corrigindo quando necessário.

Aos meus queridos irmãos, Juliano e João Gabriel, que sempre me incentivaram nos momentos difíceis contribuindo para a realização desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Primeiramente agradeço a Deus por ser meu guia, minha luz e por me dar sabedoria ao longo desta caminhada.

Ao Prof. João Francisco Galera Monico pela confiança, orientação e contribuições dadas ao longo do desenvolvimento dessa pesquisa. Também expresso meus agradecimentos a Dra. Daniele Barroca Marra Alves, co-orientadora, que continuamente auxiliou no desenvolvimento desse trabalho.

À Trimble por disponibilizar o *software* GPSNet, indispensável para a realização dessa pesquisa.

A FAPESP pelo financiamento ao Projeto Temático, Processo 2006-04008-2.

Às agências de fomento CNPq e CAPES, pelo apoio financeiro.

Ao Departamento de Cartografia e a todos da Unesp que direta e indiretamente contribuíram para o andamento a contento desse trabalho.

Ao Guilherme Poleszuk dos Santos Rosa pelo auxílio e trabalho em equipe na solução de problemas com o *software* GPSNet e por sempre estar disponível a colaborar, dando suporte as coletas de campo.

A todos os amigos da Pós-Graduação, pelas discussões, conversas e ajuda, em especial Gaucho, João Paulo, Fazan, Guilherme, Yuri, Anderson, Erico, Fabinho e a todos que esqueci de citar o nome, mas que fizeram parte e contribuíram para esse trabalho.

Aos membros do Grupo de Estudos em Geodésia Espacial (GEGE), pelas discussões as quais de forma direta e indireta contribuíram para o aprimoramento dessa pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Tocantins (IFTO), pela licença para qualificação a qual me possibilitou a permanência em Presidente Prudente e o desenvolvimento do Mestrado.

Aos meus colegas de trabalho junto a coordenação de Geomática (IFTO), pelo estímulo indispensável e apoio durante este trajeto.

EPÍGRAFE

A imaginação é mais importante do que o conhecimento
(Albert Einstein)

RESUMO

Os avanços tecnológicos nos métodos de posicionamento têm possibilitado o desenvolvimento de metodologias que viabilizam a sua utilização pelo usuário numa diversidade de aplicações. Um dos métodos de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de grande destaque é o RTK (*Real Time Kinematic*) utilizando o conceito de rede de estações. Esse método utiliza a infra-estrutura de uma rede de estações de referência, para disponibilizar correções ao usuário. O conceito clássico do RTK tem como princípio básico a alta correlação dos erros provocados pela ionosfera, troposfera e órbita dos satélites na estação de referência e em uma estação próxima de interesse. No entanto, com o afastamento entre o usuário e a estação base, a eficiência do método é degradada, pois a correlação dos erros é reduzida. Mas, quando se utiliza uma rede de estações de referência, pode-se realizar a modelagem dos erros na área de abrangência da rede. Esta concepção é denominada de RTK em Rede. No que concerne a rede de estações de referência GNSS, utilizou-se a rede estabelecida no oeste do estado de São Paulo (rede GNSS-SP). O *software* adotado para realizar o processamento em rede foi o GPSNet na versão 2.73. Outra questão levantada foi com relação aos padrões disponíveis para a transmissão dos dados ao usuário, tais como o RTCM e CMR, mostrando as evoluções e aplicações. A questão do enlace de comunicação (*link*) também foi abordada, mostrando os principais tipos disponíveis, mas com ênfase na telefonia móvel que foi utilizada para transmitir os dados via internet. Foram conduzidos vários experimentos em diferentes localizações para analisar a integridade, disponibilidade e acurácia para os posicionamentos RTK e RTK em rede. Os experimentos realizados com o RTK e RTK em rede (utilizando o conceito de VRS (*Virtual Reference Station*)) mostraram alguns problemas, os quais podem estar relacionados ao espaçamento da rede. Dentre eles, pode-se citar a diluição da acurácia, o tempo de inicialização acima do esperado ou até mesmo a não fixação das ambiguidades após 30 min de espera. Também foram evidenciados os efeitos da ionosfera, utilizando como base o índice I95. Nos resultados obtidos observou-se que, quando as estações de referência da rede estiverem muito distantes acima de 34 km, o posicionamento com RTK em rede apresentou desempenho pior que o RTK. Em relação a disponibilidade na rede GNSS-SP obteve-se valores em média de 96%. Os conceitos sobre a integridade foram apresentados e utilizados para avaliar a integridade do RTK e RTK em rede no contexto da rede GNSS-SP. Os resultados se mostraram bastante promissores.

Palavras chave: Integridade; Acurácia; RTK; RTK em rede; VRS.

ABSTRACT

Technological advances in positioning methods have enabled the development of methodologies that allow its use in a great variety of applications. One method of GNSS (Global Navigation Satellite System) positioning of high performance is the RTK (Real Time Kinematic) network. This method uses the infrastructure of a network of reference stations. The original concept of RTK is the high correlation of the errors caused by ionosphere, troposphere and satellite orbit at a reference station and at a nearby station of interest. However, increasing the distance between the user and the base station, the efficiency of the method is degraded, because the error correlation is reduced. But when using a network of reference stations, a better error modeling in the area of the network is possible. This concept is the so called Network RTK. Regarding the network of GNSS reference stations, in this work the established network in the western state of São Paulo (GNSS network-SP) was used. The software adopted to perform the tests in the network was that GPSNet, version 2.73. Another issue raised during the investigation was related to the available standards for transmitting data to the user, such as CMR and RTCM. The developments and applications were presented. The issue of communication link (link) has been addressed, showing the main available types, but with emphasis on mobile phone that was the technology used to transmit data via the Internet. Several experiments were conducted in different locations to examine the integrity, availability and accuracy for RTK positioning and RTK network. The experiments performed with RTK and RTK network (using the concept of VRS (Virtual Reference Station)) showed some problems, probably related to the density of the network. Among them the accuracy, the initialization time span more than expected or even the ambiguities that could not be solved after 30 min of data collection. The effects of the ionosphere, using as basis the index I95 were also discussed and presented. The obtained results showed that, when the network reference stations are far apart, the RTK network positioning provided a performance worse than the RTK. However, the network of the State of São Paulo does not follow the manufacturer's specifications. For availability on the network GNSS-SP, results showed an average of 96%. The concepts of integrity were presented and used to evaluate the integrity of RTK and network RTK in the context of GNSS network-SP. The results and discussion are presented in this dissertation, which are quite useful.

Keywords: Integrity; Accuracy; RTK; Network RTK; VRS.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE TABELAS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização do Assunto

O *Global Navigation Satellite System (GNSS)* integra os sistemas de posicionamento global por satélites disponíveis aos usuários. Dentre eles o americano *Global Positioning System* (GPS), o russo *Global Navigation Satellite System* (GLONASS – em russo *GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema),* o chinês *China's Compass (Beidou 2) Navigation Satellite System* (CNSS) e o europeu *European Satellite Navigation System* (Galileo) (ENGEL et al; 2004; GNSS, 2008). Além destes, existem sistemas adicionais genericamente denominados de *Space Based Augmentation Systems* (SBAS), que transmitem mensagens adicionais e podem ser utilizadas para obter melhores desempenhos no posicionamento para grandes áreas ou regiões, como por exemplo o americano *Wide Area Augmentation System* (WASS) e o europeu *Europen Geostationary Navigation Overlay System* (EGNOS). Nestes sistemas, um dos objetivos é fornecer a posição com baixa, média e alta acurácia, num intervalo de tempo cada vez menor. Assim, nas atividades que envolvem a determinação da posição, tais sistemas tem se mostrado muito mais eficientes se comparados ao posicionamento utilizando somente o GPS, apresentando ótimos resultados, principalmente melhorando a acurácia e diminuindo o intervalo de tempo de coleta de dados.

Cabe salientar que desde o surgimento do primeiro sistema de posicionamento por satélite, houve uma grande evolução nos componentes eletrônicos, na tecnologia computacional e na capacidade de processamento. Isto fez com que os receptores ficassem cada vez menores e consumissem menos energia, proporcionando o crescimento no interesse por essa tecnologia, aumentando sua popularidade e o número de usuários pelo mundo afora (LEICK, 2004). Desta forma, existe uma diversidade de receptores GNSS disponíveis aos usuários em formatos, tamanhos e precisões diferentes, o que facilita uma melhor adequação a cada necessidade.

Atualmente, com o GNSS, existem equipamentos que possibilitam explorar estes sistemas não mais isoladamente, mas em conjunto, buscando fazer com que um sistema complemente o outro. A coleta de dados GPS e GLONASS ao mesmo tempo já é uma realidade e faz com que o número de satélites disponíveis durante a coleta torne-se maior, proporcionando resultados melhores. E no futuro quando o Galileo e o *Compass (Beidou 2)*

estiverem completamente em operação, a integração entre os sistemas possivelmente possibilitará o desenvolvimento de métodos de posicionamento mais acurados que os atuais.

Neste sentido, vários métodos foram desenvolvidos ao longo dos últimos anos para explorar a capacidade que o GNSS tem de prover coordenadas acuradas com um pequeno intervalo de tempo de coleta de dados, ou até mesmo quando o receptor está se movendo ao longo de uma trajetória (MONICO, 2000; SEEBER, 2003).

Os métodos de posicionamento destacados na literatura normalmente são classificados em três grupos: o posicionamento absoluto ou por ponto; o posicionamento relativo; e o posicionamento *Differential* GPS (DGPS – GPS Diferencial). Esses métodos podem estar nas modalidades estático ou cinemático e com processamento em tempo real ou pós-processado (MONICO, 2008; HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

No caso do posicionamento relativo em tempo real, o *Real-Time Kinematic* (RTK) tem grande destaque. Esse método pode alcançar acurácia centimétrica, sem a necessidade de um processamento posterior dos dados (DAI et al., 2003). No entanto, o uso do RTK possui uma limitação; com o aumento do comprimento da linha de base os resultados são degradados, pois os erros de ionosfera, troposfera e órbita dos satélites obtidos pelo usuário perdem sua correlação, chegando ao ponto de inviabilizar o posicionamento (ALVES, 2008). Com a proposta de sanar esse problema, surge o RTK em rede, no qual uma rede de estações de referência é utilizada para gerar correções para os usuários.

Este conceito de rede de estações de referência foi desenvolvido devido à necessidade de uma melhor disponibilidade, qualidade (acurácia) e integridade no posicionamento e na navegação (ALVES, 2008). Além disso, uma das vantagens de se adotar várias estações de referência dispostas em rede é a possibilidade de modelar os erros atmosféricos (ionosfera e troposfera) na região de abrangência da rede (FOTOPOULOS e CANNON, 2001) e, com isto, permitir um posicionamento acurado, com estações de referência podendo estar mais distantes dos usuários que no RTK. Cabe acrescentar que, como no posicionamento em rede se utiliza mais de uma estação de referência para gerar as correções, um usuário provavelmente irá conseguir fazer o posicionamento se uma das estações falhar (dependendo da configuração da rede e número de estações utilizadas), porque a mesma pode ser eliminada na geração das correções e ainda assim garantir o nível de qualidade requerido.

Os vários métodos desenvolvidos para fornecer as correções advindas do posicionamento baseado em redes podem ser categorizados como: Algoritmo de Derivada

Parcial; Algoritmo de interpolação Linear; Algoritmo de Ajustamento Condicional. As correções podem ser utilizadas para gerar uma Estação de Referência Virtual (FOTOPOULOS e CANNON, 2001). No que concerne aos métodos citados anteriormente os três primeiros não serão delineados neste trabalho e se o leitor desejar mais detalhes, os mesmos são descritos em Alves (2008).

Com o conceito de estação de referência virtual (VRS-*Virtual Reference Station*) a complexidade do *software* para o usuário diminui, pois, disponibiliza dados de uma estação ao invés das correções propriamente dita (MONICO, 2008). A utilização do conceito de VRS se mostra atraente para o uso no Brasil pois, utilizando os dados de uma VRS os usuários poderão fazer o processamento normalmente utilizando os seus *softwares* convencionais de processamento no posicionamento relativo, dando-lhes muito mais flexibilidade em relação aos *softwares*.

Para o posicionamento RTK em rede o conceito de VRS é utilizado para disponibilizar as correções advindas da rede ao usuário. Pois, os dados da VRS são gerados no centro de controle a partir de modelos e transmitidos em tempo real ou mesmo podem ser armazenados para pós-processamento. Como a estação virtual fica muito próxima ao usuário, ele pode utilizar um receptor de simples frequência para determinar a sua posição através do posicionamento relativo (ALVES, 2008).

No posicionamento RTK, seja em rede ou convencional, existe a necessidade da transmissão dos dados para os usuários e, para isto, utiliza-se de um enlace (*link*) de rádio ou outro meio de comunicação (MONICO, 2008). Atualmente, com à implantação das redes de telefonia celular, o acesso por meio de um telefone móvel a internet permite utilizá-la como *link* para transmitir as informações aos usuários. Dessa forma, há tecnologia de comunicação disponível para utilizar o conceito de RTK em rede no Brasil, mas a cobertura da rede de celular não atende 100% das regiões, o que dificulta ou mesmo inviabiliza o posicionamento RTK em rede nas zonas rurais e áreas distantes das grandes rodovias. Mas também há a necessidade de se ter disponível estações de referência ativas que disponibilizem dados em tempo real.

No Brasil, tem-se disponível algumas redes GNSS ativas, como a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) e a Rede Incra de Bases Comunitárias do GPS (RIBAC). A partir de 2006 ambas foram integradas e passaram a ser denominadas de RBMC/RIBAC. O número de estações foi ampliado e as estações já existentes foram substituídas por receptores de ultima geração (PONTO DE REFERÊNCIA, 2007). Deve-se ressaltar que, após a modernização, a rede RBMC/RIBAC passou a disponibilizar dados em

tempo real de algumas estações. Mas na RBMC/RIBAC a distância entre as estações ainda é muito grande, o que inviabiliza o posicionamento RTK em rede.

Desde 2006 tem-se disponível a Rede GNSS ativa do Oeste do Estado de São Paulo (Rede GNSS-SP) que foi implantada com o intuito de aumentar a disponibilidade de estações ativas no estado, e com isso permitir a modelagem dos erros sistemáticos na região, fazendo com que a acurácia do posicionamento seja melhorada. Além disso, possibilita o desenvolvimento de pesquisas dentro do contexto de posicionamento geodésico com dados disponibilizados em tempo real, com aplicações na meteorologia, estudos da ionosfera, além do RTK em rede, entre outros (GEGE, 2008). Atualmente a rede GNSS-SP conta com 10 estações em funcionamento o que deverá ser ampliado num futuro próximo. O gerenciamento das estações é feito no centro de controle localizado no Laboratório de Geodésia Espacial (LGE) da Unesp de Presidente Prudente, no qual todos os dados são acessados em tempo real via internet.

O RTK em rede tem sido investigado por vários pesquisadores e podem ser encontrados em diversas publicações como Landau, Vollath e Chen (2002); Fotopoulos e Cannon (2001); Zhang e Roberts (2003); Rizos (2002) entre outros, os quais apresentam os grandes avanços sobre este assunto, evidenciando o aumento na qualidade e produtividade dos levantamentos. Na FCT/Unesp estudos sobre RTK em rede foram iniciados com Alves (2008). Onde permanece questões a serem resolvidas, tais como, a adequação dos modelos para ionosfera e troposfera local e a disponibilidade de infra-estrutura de comunicação, sendo assim, ainda um assunto passível de investigação.

Dentro do conceito de RTK em rede torna-se importante alguns conceitos muito utilizados em navegação. Enquanto a acurácia é bem conhecida e usada na área de Geodésia, disponibilidade e integridade são temas ainda não muito difundidos, razão pela qual são apresentados a seguir e investigados no contexto deste trabalho.

Disponibilidade é uma medida de porcentagem de tempo, durante o qual o sistema trabalha dentro da sua área de cobertura atendendo condições especificadas. A acurácia é uma medida estatística que proporciona o grau de adequação entre o parâmetro estimado ou medido de um objeto em um dado instante e o parâmetro real. Já a integridade é uma medida de confiança que se pode ter sobre a exatidão das informações fornecidas por um sistema de navegação, isto é, a capacidade que o sistema tem de informar aos usuários quando o sistema não deve ser utilizado (MONICO, 2008; SEEBER, 2003; HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

1.2 Objetivos

Neste trabalho, objetiva-se estudar e avaliar aspectos relacionados com a metodologia e a tecnologia do RTK em rede, incluindo a acurácia posicional, a integridade e a disponibilidade.

Para satisfazer o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são almejados:

- Avaliar as tecnologias utilizadas no posicionamento RTK e RTK em rede (receptor, software e sistema de comunicação);
- Analisar a acurácia do sistema;
- Inicializar discussão para propor metodologia para a definição dos parâmetros a serem usados no contexto de integridade no posicionamento Geodésico/Topográfico;
- Verificar a disponibilidade do posicionamento RTK em rede;
- Analisar a abrangência da rede com relação a disponibilização de correções que contribuem positivamente no posicionamento (com relação a interpolação e extrapolação);
- Dar continuidade aos estudos realizados no RTK em rede por pesquisadores da FCT/Unesp.

1.3 Justificativa

Atualmente o interesse é cada vez maior em alcançar posicionamento com alta acurácia em um intervalo de tempo de ocupação cada vez menor. Fato este, que motivou o desenvolvimento das metodologias e técnicas do RTK em rede. A rede ativa GNSS-SP tem uma infra-estrutura viável à implantação do RTK em rede no Oeste do estado de São Paulo, pois os seus receptores estão conectados a internet e disponibilizando dados em tempo real para um centro de controle. Necessita-se apenas de um *software* para disponibilizar as correções aos usuários.

Os *softwares* atualmente disponíveis para realizar o RTK em rede são comerciais e foram desenvolvidos para outra realidade principalmente atmosférica, como a da América do Norte e da Europa. Então, existe a necessidade de testar se estes *softwares*

atendem a realidade que tem-se no Brasil, onde as condições atmosféricas são muito mais variáveis. Além disso, na rede GNSS-SP as estações de referência estão posicionadas mais afastadas umas das outras em comparação as redes que atualmente estão utilizando o GPSNet[1] para o RTK em rede. Por isto, existe a necessidade de investigar o seu desempenho nesta configuração com estações de referência mais espaçadas, visando analisar o que se deteriora.

Outro fato que torna relevante este projeto é o pequeno número de pesquisas sobre o RTK em rede no Brasil, uma vez que até então não havia redes que pudessem ser beneficiadas com o RTK em rede, pois a infra-estrutura era insuficiente para a sua implantação.

Finalmente, cabe ressaltar que esta pesquisa pode contribuir com informações que viabilizem a implantação do RTK em rede em outras regiões do país, para que possa ser empregado nas mais diversas aplicações. Além do que, atualmente no Brasil tem se a demanda com relação aos levantamentos para fins de georreferenciamento de imóveis rurais, os quais poderiam utilizar o RTK em rede.

1.4 Conteúdo da dissertação

O presente trabalho foi organizado como é descrito a seguir, com o conteúdo de cada capítulo.

No capítulo 2 são apresentados os aspectos teóricos do posicionamento GNSS baseado em redes. Neste contexto foram apresentados os princípios do posicionamento relativo, bem como as características dos métodos de posicionamento RTK e RTK em rede. Para a disponibilização das correções de rede será dado ênfase ao conceito de VRS, pois é o método utilizado nesta pesquisa. Neste capítulo também foram apresentados os parâmetros de qualidade associados ao conceito de integridade comumente utilizado na aviação civil.

O capítulo 3 descreve os padrões para transmissão e recepção de dados incluindo os formatos RTCM nas versões 2.3 e 3.1 e informações sobre formatos tipo proprietário desenvolvidos por fabricantes de equipamento. Nesse contexto também são apresentados os meios que o usuário pode utilizar para a transmissão e recepção das informações, necessárias ao posicionamento RTK.

---

[1] O *Software* da fabricante de equipamentos Trimble foi utilizado para o gerenciamento e posicionamento em rede.

No capítulo 4 por sua vez será apresentado alguns dos *softwares* disponíveis para dar suporte ao RTK em rede, com mais detalhes no *software* GPSNet, pois a sua descrição será de grande aplicação neste projeto, pois é o *software* adotado para disponibilizar o RTK em rede na rede GNSS-SP.

No capítulo 5 será apresentada a metodologia que será utilizada para o desenvolvimento desse projeto.

Com a finalidade de analisar os resultados do posicionamento utilizando o conceito de rede na área de abrangência da rede GNSS-SP, o capítulo 6 apresenta alguns experimentos realizados nessa rede. Os experimentos foram realizados com o RTK utilizando como enlace de comunicação a tecnologia GPRS disponíveis na rede de telefonia móvel.

Finalmente, no capítulo 7 tem-se as considerações finais, conclusões e recomendações.

2 POSICIONAMENTO GNSS BASEADO EM REDES

2.1 Aspectos introdutórios

Os métodos de posicionamento baseados no GNSS são diferenciados principalmente com relação a qual referencial as coordenadas são determinadas. Quando estas são obtidas diretamente em relação ao geocentro, o posicionamento é classificado como posicionamento absoluto ou posicionamento por ponto (PP). Neste método tem-se apenas um receptor e a determinação da posição é baseada nas pseudodistâncias derivadas do código C/A (MONICO, 2008; SEEBER, 2003). Outra estratégia no posicionamento é a adoção das efemérides precisas, correções dos relógios e os dados de fase da onda portadora, e nesse caso, é denominado de posicionamento por ponto preciso (PPP) (MONICO, 2008).

Quando as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por uma ou mais estações de coordenadas conhecidas utilizando ΔX, ΔY e ΔZ, este é denominado de posicionamento relativo. Neste método há necessidade de dispor de dois ou mais receptores coletando dados simultaneamente, sendo que um receptor rastreia os dados nos pontos que se deseja determinar as coordenadas e o outro receptor (denominado de base) permanece fixo sobre a estação de coordenadas conhecidas. Atualmente, com a disponibilização das redes ativas (RBMC/RIBAC e a GNSS-SP) é possível utilizar as estações de referência pertencentes a estas redes (MONICO, 2008). Os dados coletados simultaneamente na estação de referência e nas estações a determinar definem as várias linhas de base para o processamento.

Pode-se ainda, usar o método denominado de DGPS (*Differential* GPS), sendo que no DGPS um receptor é estacionado em uma estação de referência e os outros receptores ficam na posição de interesse do usuário. Neste método o princípio básico é que os dois receptores rastreando simultaneamente os mesmos satélites têm os erros atuantes correlacionados. Assim, utilizando as coordenadas já conhecidas e as determinadas no PP, calcula-se as diferenças entre as coordenadas, ou as diferenças entre as pseudodistâncias observadas e calculadas. Estas diferenças são transmitidas aos usuários por algum meio de comunicação. Após fazer as correções das pseudodistâncias o usuário determina sua posição, no PP, diretamente em relação ao geocentro (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

Sabe se também que, no DGPS as correções deterioram-se com o distanciar da estação base (decorrelação dos erros). Desta forma, para eliminar essa deficiência, desenvolveu-se o sistema WADGPS (*Wide Area* DGPS), que ao invés de produzir uma correção escalar para cada pseudodistância, o sistema proporciona um vetor de correções, para cada satélite, composto dos erros das efemérides e do relógio, além dos parâmetros referentes a refração ionosférica e troposférica. Na composição de um sistema de WADGPS, fazem parte pelo menos uma estação monitora, estações de referência, e sistema de comunicação. As medidas coletadas em cada estação de referência são enviadas para a estação monitora, a qual estima e analisa as componentes do vetor de correções, e as transmitem para os usuários via um sistema de comunicação apropriado (como, por exemplo, satélites de comunicação geoestacionários, internet e redes FM) (MONICO, 2008).

Nas aplicações dos três métodos descritos anteriormente o objeto a ser posicionado pode estar em repouso ou em movimento, o que gera uma classificação complementar na qual se denomina posicionamento estático e posicionamento cinemático, respectivamente. Cabe ainda a distinção com relação ao processamento, o qual pode ser em tempo real (a estimativa da posição ocorre praticamente no mesmo instante da coleta das observações) e pós-processado (a estimativa da posição é posterior á coleta dos dados).

O posicionamento relativo cinemático em tempo real, que na língua inglesa é denominado de RTK (*Real Time Kinematic*), é um dos métodos de posicionamento mais aproveitados do momento, pois uma variedade de aplicações tem grande benefício se as coordenadas são obtidas no instante de coleta e apresenta grande acurácia. Porém, esta modalidade de levantamento apresenta limitações, sendo estudadas e apresentadas soluções, como o RTK em rede, o qual permite introduzir o conceito de integridade e disponibilidade no contexto da Geodésia.

Neste contexto pode-se observar que no decorrer dos anos o conceito de redes de estações de referência para o posicionamento GNSS tanto em tempo real quanto pós-processado foi amplamente pesquisado através de vários grupos de pesquisas (WANNINGER, 1999; DAI et al., 2001; ZHANG e ROBERTS, 2003; ALVES, AHN e LACHAPELLE, 2003). Dessa forma, com o desenvolvimento do conceito de rede no posicionamento (RTK em rede), foi possível desenvolver aplicações que requerem alto nível de acurácia, como a posição e orientação de aeronaves, entre outras (LACHAPELLE e ALVES, 2002).

Os métodos de posicionamento RTK e DGPS em rede fornecem grandes vantagens ao usuário. A rede de estações permite a modelagem dos erros atmosféricos,

reduzindo a decorrelação dos erros espaciais, fator que limita a distância entre o usuário e a estação de referência. No caso do RTK esta distância é aproximadamente 20 km, dependendo das condições ionosféricas (ALVES, 2008).

2.1.1 Posicionamento relativo

No posicionamento relativo para uma simples linha de base, dois receptores devem estar coletando dados simultaneamente durante a sessão de observação. No contexto desse tipo de posicionamento, a observável normalmente adotada como fundamental é a dupla diferença (DD), quer seja da fase de batimento da onda portadora ou da pseudodistância, ou ambas. Os casos onde se usam as duas observáveis proporcionam melhor acurácia (MONICO, 2008).

2.2 Posicionamento cinemático em tempo real (RTK)

Normalmente o processamento de dados do método relativo é realizado no escritório. No entanto, muitas aplicações obtêm grandes benefícios se as coordenadas são determinadas em tempo real, tais como monitoramento, navegação, obras de engenharia (terraplenagem), locação, agricultura de precisão (MONICO, 2008). Nesse sentido, o posicionamento RTK torna-se muito interessante.

No posicionamento RTK são utilizados dois receptores coletando dados continuamente. Um dos receptores é denominado estação de referência (base) e fica posicionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas. Já o outro receptor (receptor *rover*), localizado nas proximidades, coleta dados nos pontos de interesse do usuário para determinação da posição em tempo real.

Assim, pode-se dizer que a tecnologia RTK torna o GNSS uma ferramenta universal para medições em tempo real, substituindo as técnicas de medições tradicionais (Estação Total) (SEEBER, 2003). Segundo Monico (2008) e Seeber (2003) a tecnologia RTK é baseada nas seguintes características:

- transmissão em tempo real dos dados de fase da onda portadora e pseudodistância da estação base para estação móvel ou as correções das mesmas;

- resolução da ambiguidade para a estação móvel com solução quase instantânea "*on the way*" ou "*on the fly*";
- determinação confiável do vetor da linha de base em tempo real ou quase em tempo real.

No que se refere à transmissão dos dados para o posicionamento RTK, em 1994 foi definido um novo tipo de mensagem pelo RTCM SC-104 (*Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committe* 104) na versão 2.1. Nesta versão o RTCM contém as mensagens 18 e 19 com os dados brutos de fase da onda portadora e pseudodistância. Alternativamente tem-se as mensagens 20 e 21, destinadas à serem usadas com as correções das medições feitas na estação de referência (SEEBER, 2003). Atualmente, tem-se disponíveis as mensagens RTCM nas versões 2.3, 3.0 e 3.1, sendo que a versão 3.1 foi publicada somente em Outubro de 2006.

A versão 2.3 possibilita a transmissão de dados e/ou correções GNSS entre uma estação base e uma estação móvel qualquer. Os dados transmitidos em tempo real permitem a realização de técnicas de posicionamento como o DGPS e o RTK (RTCM, 2001).

A versão 3.0, disponibilizada em setembro de 2003, foi projetada especificamente para levar em conta as modificações no GPS e GLONASS (por exemplo, novos sinais L5 e L2C) e se adequar aos novos sistemas GNSS que estão em desenvolvimento (por exemplo, Galileo). Esta versão é mais eficiente que a 2.3 e suporta o transporte de um número maior de informações possibilitando a realização do RTK em rede (RTCM, 2004). Já a versão 3.1 é a mais atual e incorpora correções de rede GPS, as quais permitem um receptor móvel obter informações para o posicionamento RTK acurados sobre uma grande área (RTCM, 2006).

Outro ponto importante a acrescentar é que atualmente tem-se utilizado a internet para transportar as mensagens RTCM. Para isto, foi desenvolvido o protocolo denominado de *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP) (CHEN, LI e WEBER, 2003). Esse protocolo foi desenvolvido pela *German Federal Agency for Cartography and Geodesy*, e foi criado com o intuito de substituir a transmissão via rádio, que muitas vezes possui limitação em relação à distância da estação base, sendo ele um protocolo baseado em *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP)[2] (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

---

[2] HTTP é um protocolo de comunicação utilizado para transferir dados por intranets e pela *World Wide Web*. Assim, o protocolo HTTP passou a ser utilizado para a comunicação entre computadores na Internet e a especificar como são realizadas as transações entre clientes e servidores, através do uso de regras básicas ((KUROSE e ROSS, 2006)).

Um fator chave para o RTK é a habilidade que o receptor móvel tem de resolver a ambigüidade, enquanto a sua antena estiver em movimento, praticamente em tempo real. Esta característica é denominada de resolução da ambiguidade "*on the fly*" (OTF). Cabe ainda acrescentar que, a solução com número inteiro (*fix*) para a ambiguidade (N), permite que a acurácia do posicionamento chegue ao nível centimétrico no RTK (SEEBER, 2003).

No entanto, no posicionamento RTK, os erros envolvidos no processo (ionosfera e troposfera), são proporcionais ao comprimento da linha de base, o que restringe a distância entre a estação de referência e o usuário a poucos quilômetros (dependendo das condições atmosféricas, principalmente da ionosfera). Para superar este problema, foi desenvolvido o conceito de rede de estações de referência (RTK em rede) (LANDAU, VOLLATH e CHEN, 2002; ALVES, AHN e LACHAPELLE, 2003; RIZOS, 2002; FORTES, 2002).

2.3 RTK em rede

A utilização do RTK em rede já é uma realidade em muitos países e está associada ao aumento da demanda por informações espaciais de alta qualidade e em tempo real. O conceito de RTK em rede foi desenvolvido para melhorar a disponibilidade, acurácia e confiabilidade no posicionamento e na navegação (ALVES, AHN e LACHAPELLE, 2003).

Existem diversas vantagens em utilizar uma rede de estações ao invés de uma única estação de referência para o posicionamento. Uma delas é o fato que se uma ou mais estações falharem ainda será possível fazer o posicionamento RTK (dependendo do número de estações da rede) com as estações remanescentes, mesmo que sua acurácia seja reduzida (ALVES, 2008). Também pode-se dizer que, devido à redundância de estações utilizadas para prover as correções ao usuário, é possível verificar a qualidade das correções, pois excluindo uma das estações no momento de gerar as correções pode-se analisar a qualidade sobre a estação não utilizada.

A utilização de um número maior de estações de referência permite ainda fazer a combinação[3] destas observações por meio de técnicas de modelagem, e assim tratar os erros atmosféricos dentro da área de abrangência da rede. A modelagem dos erros facilita a

[3] Os dados das estações são usados interativamente para modelar os erros correlacionados na região de abrangência da rede (ALVES, AHN e LACHAPELLE, 2003)

solução correta das ambiguidades da fase da onda portadora, condição para obtenção da acurácia a nível centimétrico no posicionamento.

De acordo com Fotopoulos (2000), todas as técnicas baseadas em múltiplas estações de referência necessitam do conhecimento a priori das ambigüidades das duplas diferenças entre as estações de referência da rede. Após solucionar as ambigüidades, as correções da rede e/ou os dados da Estação de Referência Virtual (VRS) podem ser gerados e então fornecidos aos usuários para melhorar a acurácia do posicionamento. Porém, Alves (2008) adotou uma metodologia que utiliza modelos para obter o erro nas estações da rede sem solucionar o vetor das ambigüidades.

As características básicas do RTK em rede são: mais estações são utilizadas como referência (podendo variar de três a dezenas ou a centenas estações); a possibilidade de fazer controle de qualidade; as distâncias entre as estações de referência podem ser muito maiores se comparado ao RTK; área de abrangência muito maior para o usuário atuar; área totalmente coberta na região de abrangência da rede (ALVES, 2008). Porém, segundo Fotopoulos (2000) existem algumas desvantagens com relação ao posicionamento em rede, uma vez que, dependendo do método adotado para disponibilizar as correções, existirá um aumento do volume de dados a serem transmitidos aos usuários ou a complexidade é maior na implementação a ser feita pelo usuário. Entretanto, atualmente a capacidade de transmissão não deve ser empecilho para estes métodos porque o volume de dados que pode ser transmitido pela rede de telefonia móvel é bastante grande.

Além disso, cabe acrescentar que tanto no RTK como no RTK em rede existe a necessidade de comunicação (por exemplo, a internet) entre o centro de controle e o usuário, para transmitir as informações, seja de correções; seja de VRS. Portanto, o protocolo Ntrip para o transporte de mensagens RTCM pode ser empregado.

Dos métodos utilizados para fornecer informações de uma rede de estações de referência o que mais têm se mostrado adequado as características do Brasil é o baseado na VRS. Pois o conceito de VRS possibilita, aos usuários com receptores RTK mais antigos, utilizar as correções de rede no posicionamento RTK em rede. Neste caso o usuário ira utilizar dados de uma estação de referência próxima sem a existência física da mesma. Portanto esse conceito será apresentado com mais detalhes na próxima seção.

2.3.1 Estação de referência virtual (VRS)

A idéia básica de uma VRS é gerar dados simulando uma estação de referência próxima ao receptor do usuário, fornecendo desempenho semelhante a uma linha de base curta. Assim, não existe a necessidade de ter fisicamente um receptor em um ponto conhecido próximo ao usuário (VOLLATH et al., 2000; WANNINGER, 2002).

Para aplicar o conceito de VRS, as estações de referência da rede devem rastrear continuamente os dados GNSS e os reunir em um computador no centro de controle via uma rede de comunicação. Esse computador central, de posse dos dados das estações de referência, juntamente com *softwares* específicos modela os erros espaciais que limitam a acurácia no posicionamento GNSS e gera correções apropriadas ou dados da VRS para serem utilizados pelos usuários (ZHANG e ROBERTS, 2003).

Cabe ressaltar que, quanto mais próximo a estação de referência estiver do usuário espera-se que os resultados sejam de melhor qualidade. Dessa forma o centro de controle utiliza a posição aproximada do usuário para gerar a VRS nesta posição, sendo que a posição pode ser obtida por posicionamento absoluto (PP). Normalmente a posição aproximada do usuário é enviada ao centro de controle, utilizando o padrão NMEA (*National Marine Electronics Association*) numa série de caracteres da posição chamada de mensagem GGA (*Global Positioning System Fix Data*), por exemplo, utilizando um modem celular de conexão de dados via internet, como GSM (*Global System for Mobile communications*) /GPRS (*General Packet Radio Service*). O centro de controle aceita a posição e responde enviando dados da VRS no formato RTCM (ZHANG e ROBERTS, 2003; TRIMBLE, 2006). Desta forma, a estação de referência virtual é gerada na posição informada pelo usuário (Figura 01), que a utiliza como se ela fosse uma estação real de referência (LANDAU, VOLLATH e CHEN, 2002).

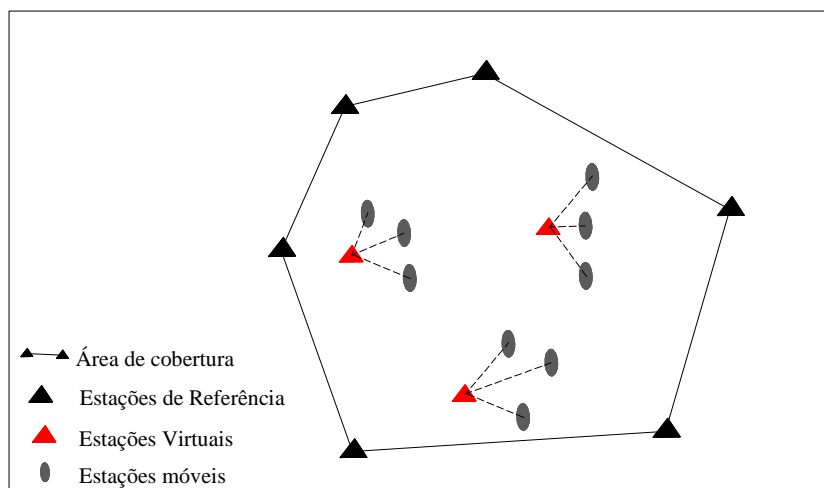



Figura 01 – Conceito de estações de referência virtual

Fonte: Adaptado de Alves (2008).

Finalizando, dos métodos adotados no posicionamento em rede, aquele baseado em VRS apresenta característica atrativa ao usuário tais como: a redução da complexidade no que diz respeito ao software para o usuário, uma vez que o usuário poderá utilizar o próprio software disponível no receptor para o posicionamento em tempo real. Isto possibilita uma vida útil maior aos equipamentos já adquiridos pelos vários usuários (MONICO, 2008).

2.3.1.1 Princípio da VRS

Para transformar as medidas feitas em uma estação de referência real para a localização da VRS, todos os termos da equação de observação dependentes da localização necessitam ser corrigidos para a nova localização (posição da VRS) (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008). Assim, para gerar os dados da VRS da forma mais simples possível, é selecionada uma estação, normalmente a que está mais próxima da VRS, como estação base. Observa que a estação neste contexto é diferente daquele elucidado no RTK original. A partir das observáveis da estação base, fase e pseudodistância, e dos erros atmosféricos modelados a partir das estações de referência são gerados as observáveis para a VRS (ALVES, 2008).

Seja a equação da fase dada por (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008):

$$\Phi_r^s(t) = \frac{1}{\lambda}\rho_r^s(t) + N_r^s + f\Delta\delta_r^s(t) \tag{2.3}$$

onde:

$\Phi_r^s(t)$ - medida da fase da onda portadora, em ciclos;

$\rho_r^s(t)$ - distância geométrica entre o receptor ***r*** e o satélite ***s***, em metros;

λ - comprimento de onda (m);

N_r^s - Ambiguidade, valor inteiro de ciclos;

f - frequência da fase da onda portadora, em MHz;

$\Delta\delta_r^s(t)$ - diferença entre os erros dos relógios dos satélites e receptor.

A questão é definir da equação (2.3) quais os termos são dependentes da posição ou, em outras palavras, qual dos termos se modifica se o mesmo receptor for assumido em outra posição, mas considerando o mesmo instante *t*. A resposta está nos termos $\Phi_r^s(t)$ e $\rho_r^s(t)$, pois os outros componentes da equação não sofrem alteração com a variação da posição.

Assumindo um receptor *r* localizado em uma estação de referência real A, com suas coordenadas representadas pelo vetor $\mathbf{X}_A$, e uma estação virtual (VRS) representada por $\mathbf{X}_V$, pode-se representar as duas observáveis respectivamente com as seguintes equações:

$$\Phi_r^s(\mathbf{X}_A, t_A) = \frac{1}{\lambda}\rho_r^s(\mathrm{X}_A, t_A) + N_r^s + f\Delta\delta_r^s(t_A)\ , \tag{2.4}$$

$$\Phi_r^s(\mathbf{X}_V, t_V) = \frac{1}{\lambda}\rho_r^s(\mathrm{X}_V, t_V) + N_r^s + f\Delta\delta_r^s(t_V)\ . \tag{2.5}$$

t_A é o tempo de transmissão do sinal para a estação base, em segundos;

t_V é o tempo de transmissão do sinal para a estação VRS, em segundos.

Para obter os dados da estação virtual faz-se o deslocamento geométrico da estação para a VRS. A Figura 02 ilustra os elementos envolvidos no cálculo para 1 satélite.

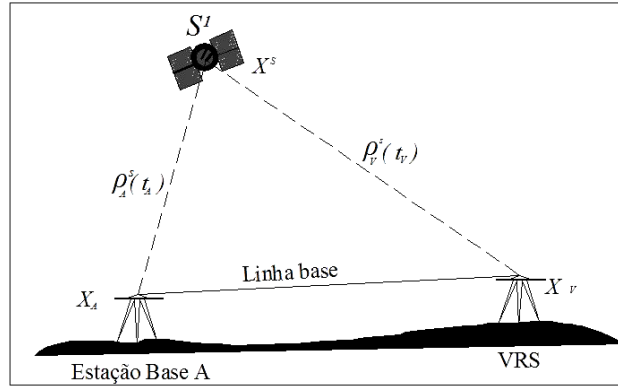



Figura 02 – Deslocamento geométrico da estação base para VRS
Fonte: Adaptado de Alves (2008).

Segundo Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger e Wasle (2008) para obter o deslocamento da estação real para a VRS faz se a diferença entre as equações (2.4) e (2.5),

$$\Phi_r^s(\mathbf{X}_V, t_V) - \Phi_r^s(\mathbf{X}_A, t_A) = \frac{1}{\lambda}\rho_V^s(\mathbf{X}_V, t_V) - \frac{1}{\lambda}\rho_A^s(\mathbf{X}_A, t_A), \qquad (2.6)$$

Fazendo um rearranjo, esta medida pode ser representada matematicamente por:

$$\Phi_r^s(\mathrm{X}_V, t_V) = \Phi_r^s(\mathrm{X}_A, t_A) + \frac{1}{\lambda}[\rho_V^s(\mathrm{X}_V, t_V) - \rho_A^s(\mathrm{X}_A, t_A)]. \qquad (2.7)$$

O lado esquerdo da equação (2.7) é a quantidade da observável desejada para a VRS e pode ser obtida conhecendo-se as coordenadas da estação A, as coordenadas do satélite e o único termo restante a definir são as coordenadas da posição da VRS, que normalmente fica muito próxima da posição do usuário. Usualmente a posição é dada pelo próprio receptor do usuário, utilizando a posição aproximada baseada no posicionamento por ponto com código.

Dessa forma, tanto para as observáveis de fase como para as pseudodistâncias pode se usar o princípio da equação (2.7) e assim deslocar todas as observações da estação base para a posição da VRS.

No entanto, as equações (2.3), (2.4) e (2.5) são idealizados sem considerar os erros, tais como: erros das órbitas dos satélites, refração ionosférica e atraso troposférico. Logo, para uma estação A estes erros podem ser representados matematicamente pelo termo coletivo dado por (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008):

$$\Delta_r^s(X_A, t_A) = \Delta^{Orbit}(X_A, t_A) + \Delta^{Iono}(X_A, t_A) + \Delta^{Trop}(X_A, t_A) \quad (2.8)$$

Analogamente, a quantidade da observável desejada para a VRS pode ser obtida a partir do modelo matemático dado por (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008):

$$\Phi_r^s(X_V, t_V) = \Phi_r^s(X_A, t_A) + \frac{1}{\lambda}[\rho_V^s(X_V, t_V) - \rho_A^s(X_A, t_A)] + \Delta_r^s(X_V, t_V) - \Delta_r^s(X_A, t_A) \quad (2.9)$$ [4]

Consequentemente, para estimar o erro $\Delta_V^s(X_V, t_V)$ para a VRS é necessário ter solucionadas todas as linhas de base da rede, sendo que é requerido a determinação correta das ambiguidades para as linhas de base (um fator que facilita esta determinação é que as coordenadas das estações são conhecidas). Uma das formas de obter uma aproximação simples para $\Delta_V^s(X_V, t_V)$ é utilizar os erros residuais $\Delta_A^s(X_A, t_A)$, $\Delta_B^s(X_B, t_B)$, $\Delta_C^s(X_C, t_C)$ das estações de referência A, B, C que cerca a VRS e calcular uma média ponderada no qual os pesos dependem inversamente da distância entre a VRS e a respectiva estação. Além disso, pode se também utilizar correções para o centro de fase da antena (MAREL, 1998). Com relação ao erro do relógio do receptor e as ambiguidades pode se utilizar os valores obtidos da estação base para serem introduzidos nos dados da VRS.

Alves (2008) utilizou uma metodologia similar a descrita em (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008) e os resultados obtidos foram a nível centimétrico a decimétrico.

2.5 Indicadores de qualidade

O desempenho de um sistema de navegação é normalmente caracterizado por um indicador estatístico de qualidade. Como existem variações nas definições dos parâmetros de qualidade, esse indicador depende da aplicação e do sistema de navegação do usuário (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

Normalmente os parâmetros de qualidade utilizados para representar a confiança no sistema de posicionamento e navegação são: acurácia, integridade, continuidade

[4] A equação difere do (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008) pela adição do seguinte termo $\Delta_r^s(X_A, t_A)$.

e disponibilidade. Geralmente estes parâmetros de qualidade referem-se a um certo instante de tempo, a um intervalo de tempo ou mesmo a uma média ao longo do tempo (CAA, 2004).

Esses indicadores de qualidade não são independentes. Eles estão relacionados uns aos outros e essa dependência pode se representada por uma pirâmide, onde a acurácia é a base. A integridade garante a confiabilidade caso em que a acurácia tem que atender ao requisito. Já a continuidade é a disponibilidade sobre um intervalo de tempo requer que todos os requisitos apresentados tenham sido atendidos em qualquer instante. Dessa forma a Figura 03 apresenta a pirâmide que ilustra a relação entre os indicadores de qualidade. As setas indicam a relação entre os indicadores.

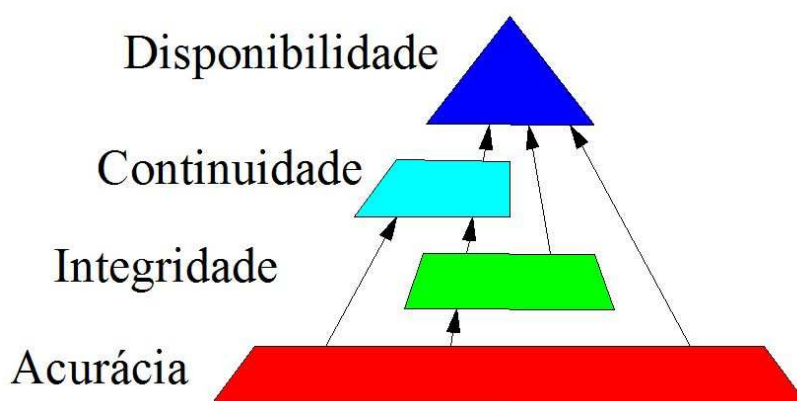



Figura 03 – Relação entre os indicadores de qualidade
Fonte: Adaptado e traduzido de Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger e Wasle (2008).

Conforme já mencionado anteriormente, o posicionamento Geodésico a partir do RTK em rede permite introduzir o conceito de integridade e disponibilidade, os quais são de uso rotineiro na aviação civil.

2.5.1 Acurácia

Acurácia é uma medida estatística que fornece o grau de conformação entre a estimativa ou parâmetro medido de um objeto num dado instante e o parâmetro tomado como referência (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

Segundo Monico (2008) a acurácia é o grau de concordância entre o valor medido de uma grandeza e o considerado “verdadeiro” ou de melhor qualidade. Envolve efeitos sistemáticos (tendência) e aleatórios (dispersão). Gemael (1994) também relaciona à

acurácia aos efeitos aleatórios e sistemáticos, e compara com a precisão onde são vinculados somente os efeitos aleatórios (á dispersão das observações).

Com relação à acurácia de um sistema de navegação, esta é normalmente apresentada como uma medida estatística do erro do sistema em conjunto com um nível de confiança (por exemplo, 95%) refletindo a probabilidade do valor dado (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

2.5.2 Continuidade

Continuidade é a capacidade do sistema de executar uma função sem interrupções não programadas durante uma operação almejada. Mais especificamente, continuidade é a probabilidade de um sistema específico manter-se funcionando durante a fase de operação, supondo estar funcionando no início das operações (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008). No entanto a continuidade não será avaliada nesta pesquisa.

2.5.3 Disponibilidade

A disponibilidade para um sistema de navegação é a medida de porcentagem de tempo, durante o qual o sistema funciona dentro da sua área de cobertura sob condições específicas. A disponibilidade é uma indicação da capacidade do sistema em fornecer um serviço utilizável dentro de uma área de cobertura específica (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

2.5.4 Integridade

A integridade está relacionada ao nível de confiança que se pode ter da informação dada por um sistema de navegação. Inclui-se a habilidade do sistema de navegação de fornecer avisos na hora certa e válidos para o usuário quando o sistema não deve ser utilizado para fins operacionais ou períodos de vôo. Mais especificamente, um sistema de navegação é solicitado a enviar um aviso (um alarme) de um mau funcionamento

(devido ao limite de alerta fixado ter sido excedido) para os usuários num dado período de tempo (tempo para o alarme) (CAA, 2004).

Na integridade comparecem vários parâmetros, de uso rotineiro na aviação civil, denominados de tempo especificado para o alarme (TTA – *Time To Alarm/alert*) e o limite de alerta (AL – *Alarm Limit*), o qual reflete o erro máximo tolerável do sistema. Para descrever a integridade e o risco de integridade usa-se o nível de proteção (PL – *Protection Levels*), pois o erro instantâneo verdadeiro é desconhecido, sendo denotado erro de posição (PE – *Position Error*). Já o (AL), como definido antes, especifica o PE máximo admissível antes que o alarme seja acionado. O PL é a estimativa do erro do sistema de navegação que faz ligação ao PE. A integridade é garantida enquanto PL > PE. Se PL > AL a integridade é perdida, um alarme é disparado, e ao mesmo tempo a continuidade e a disponibilidade também são perdidas (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

O conceito de PL é dividido em duas componentes, a vertical PL (VPL – *Vertical Protection Levels*) e a horizontal PL (HPL – *Horizontal Protection Levels*). Essa são consideradas como níveis independentes e podem ser obtidas a partir dos modelos matemáticos apresentados por (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008):

$$VPL = k_{VPL}\sigma_0 \sqrt{q_{uu}}, \tag{2.10}$$

$$HPL = k_{HPL}\sigma_0 \sqrt{\frac{q_{nn}+q_{ee}}{2} + \sqrt{(\frac{q_{nn}+q_{ee}}{2})^2 + q_{ne}^2}}, \tag{2.11}$$

onde, os elementos q_{nn}, q_{ee}, q_{ne}, e q_{uu} são as variâncias obtidas da MVC dos parâmetros estimados no sistema de coordenadas geodésico local e σ_0 é o sigma a priori.

Segundo Roturier et al. (2001), o fator k[5] (em 2.10 e 2.11) escala a variação da posição a um nível compatível com a exigência de integridade. Por exemplo, para aplicações de aproximação com precisão no domínio de aviação, os valores de k para os níveis de proteção horizontal (k_{HPL}) e vertical (k_{VPL}) são k_{VPL} = 5,33 e k_{HPL} = 6,0, supondo uma função de distribuição normal (RTCA, 2006).

[5] O valor de k é determinado a partir de uma distribuição Rayleigh desde que a proteção seja bi-dimensional. Já para aplicações com dois fatores unidimensionais k é determinado de uma distribuição Normal, correspondendo a lateral (crosstrack) e a proteção vertical (ROTURIER et al., 2001).

Na Figura 04 o erro de posição, o nível de proteção e o limite de alerta são contrastados em vários cenários de operação do sistema. Por exemplo, se o nível de proteção for muito conservador (nível II da Figura 04), PL sempre estará limitado ao PE, mas excederá frequentemente ao AL o que causará uma baixa continuidade e disponibilidade. Já se o nível de proteção escolhido é muito otimista (nível V da Figura 04), a probabilidade de uma informação perigosamente equivocada ser dada (HMI– *Hazardously Misleading Information*) aumenta (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008). O cálculo de PL não deve ser nem muito otimista nem muito conservador.

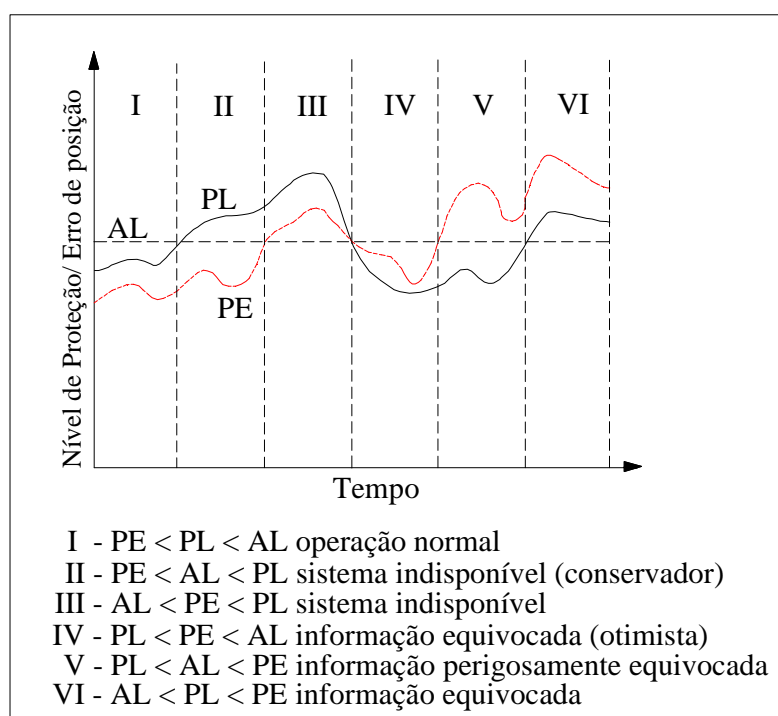



Figura 04 – Níveis de Proteção

Fonte: Adaptado e traduzido de Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger e Wasle (2008).

O Quadro 01 apresenta um resumos das possíveis condições de operação do sistema em relação a integridade.

Quadro 01 – Condições de operação do sistema

Situação	Sistema	Condição	Obs
I	Disponível	Ok	Normal
II	Indisponível	Ok	Conservador
III	Indisponível	Ok	Normal
IV	Disponível	Risco	Otimista
V	Disponível	Alto risco	Equivocadamente
VI	Indisponível	Risco	Otimista

Quando se monitora a integridade o objetivo é determinar se um sistema ou se uma medida atende aos requisitos de desempenho de um sistema de navegação. O monitoramento da integridade é utilizado para integrar, disseminar ou complementar um sistema de navegação (por exemplo, GBAS – *Ground Based Augmentation System*, SBAS). Além disso, com estações de monitoramento contínuo pode-se monitorar o sinal do satélite e enviar informações, sobre qualquer comportamento errôneo, ao usuário. Finalmente, o receptor autônomo de monitoramento da integridade (RAIM – *Receiver Autonomous Integrity Monitorin*g) é uma técnica que explora a redundância de medidas para fornecer um alto nível de integridade e segurança para o usuário (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

Nos serviços de monitoramento da integridade, uma rede de estações analisa a condição dos sinais dos satélites quanto à sua integridade. Como no RTK em rede é utilizado uma rede de estações, também é possível implementar o monitoramento desse elemento. No entanto, esse elemento ainda não é de uso comum na Geodésia, requerendo investigações no que concerne a quantificação, padronização e certificação.

2.5.5 Índice de distúrbio da ionosfera (I95)

Segundo Wanninger (2004), o posicionamento RTK é limitado a distâncias curtas entre a estação base e o usuário devido principalmente aos erros causados pela ionosfera. Por isso, indicadores com a dimensão dos erros ionosféricos residuais (esperados) têm uma grande importância para os usuários de RTK e também para usuários de RTK em rede. Esses indicadores cumprem duas tarefas. Primeiramente, eles informam sobre as dificuldades esperadas no posicionamento RTK ou RTK em rede, para que o usuário seja

capaz de reagir a esta dificuldade. E em segundo lugar, eles podem ser capazes de apoiar na solução das ambiguidades da linha de base, fornecendo informações estatísticas que mostram a dimensão esperada da tendência residual ionosférica.

Esse indicador é o índice de perturbação ionosférica I95, que foi desenvolvido em 1998 (WANNINGER, 1999) e que desde então esteve continuamente em uso na Europa. O índice I95 é baseado no resíduo ionosférico diferencial calculado em uma rede de estações de referência GPS. Originalmente ele foi destinado a apoiar o RTK, mas também comprovou ser útil aos usuários de RTK em rede. Atualmente, os valores do índice I95 são disponibilizados a cada hora em vários *websites* de Internet das redes fornecedoras de serviço RTK na Europa, tais como SAPOS (*German Satellite Positioning Service*) e SERVIR (Sistema de Estações de Referência GPS VIRtuais, Portugal).

Com a instalação de densas redes de estações de referencia GPS, modelos da refração atmosférica foram desenvolvidos. Esses modelos de correção são baseados na solução das ambiguidades das observáveis de fase e são capazes de registrar efeitos atmosféricos diferenciais com acurácia na ordem do milímetro ao centímetro. Os modelos ionosféricos são produzidos para cada satélite individualmente e com uma alta resolução temporal (WANNINGER 2004).

Para determinar o I95 o modelo de correção do efeito ionosférico compreende basicamente dois coeficientes. Eles representam as tendências ionosféricas diferenciais em duas direções: a sul-norte (I_{LAT}) e a leste-oeste (I_{LON}). A fim de sintetizar o conteúdo da informação que descreve a superfície de correção ionosférica combinam-se os dois parâmetros da seguinte forma (WANNINGER, 1999):

$$I = \sqrt{I_{LAT}^2 + I_{LON}^2}, \qquad (2.12)$$

Os valores do índice I95 refletem a intensidade da atividade ionosférica, isto é, as influências esperadas para as posições GPS relativas. Os valores de I95 são computados das correções ionosféricas de todos os satélites em todas as estações de rede durante uma respectiva hora. Para o cálculo do índice, os piores dados (um total de 5%) são rejeitados, os 95% restantes representam o valor do índice I95 para um período de uma hora. Um exemplo do índice é apresentado na Figura 05.

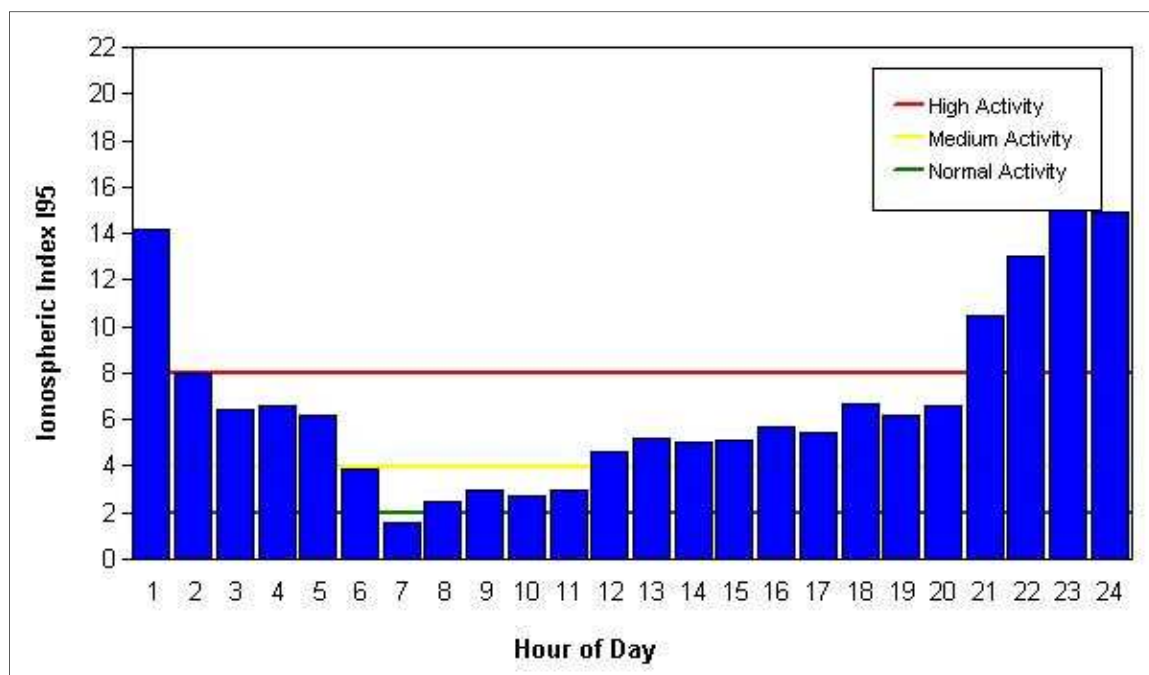



Figura 05 – Gráfico com os valores do I95 (em ppm de L1) obtidos na rede GNSS-SP no dia 12/01/2010

Fonte: GPSNet

A ocorrência de perturbações ionosféricas pode ser facilmente descoberta interpretando os parâmetros de inclinação da superfície da correção ionosférica. Se eles excedem certos limiares (p. ex. I95> 4 ppm da L1) é recomendado processar a linha de base entre a estação virtual e a do usuário usando um algoritmo para solução das ambiguidades que trate os efeitos ionosféricos. Além disso, para calcular as coordenadas sugere-se a utilização da combinação linear *íon-free* (WANNINGER 1999).

3 PADRÕES PARA TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DE DADOS

Os padrões para transmissão e recepção de dados utilizados nos posicionamentos em tempo real, tal como o RTK e o DGPS, normalmente recorrem à formatos de mensagens, quer seja do tipo proprietário, quer seja do tipo padrão. No caso das mensagens com formato padrão, estas obedecem ao formato de mensagens idealizado pela comissão RTCM-SC104.

Em 1983, o RTCM fundou o Comitê Especial 104 com a finalidade de desenvolver recomendações e critérios para a transmissão das correções das pseudodistâncias (o que possibilita realizar somente o DGPS) (SAATKAMP, 2003). Essas recomendações foram implementadas em 1985, originando na primeira versão do padrão, denominado RTCM 1.0. A partir de então, novas versões desse padrão foram publicadas até que em 1994 foi definido a versão RTCM 2.1 que veio dar suporte a transmissão dos dados para o posicionamento RTK. Como as mensagens RTCM são codificadas no formato binário, viabilizam a transmissão via link de comunicação entre a estação base e o usuário.

As versões 2.3 e 3.0 como são mais antigas já estão disponíveis na maioria dos equipamentos (receptores) e *softwares* e permitem a prática de diversas aplicações GNSS, mas a tendência é que nos novos receptores GNSS já tenha disponível a versão RTCM 3.1.

Em relação aos formatos proprietários, a maior parte dos fabricantes de equipamentos possuem os seus próprios protocolos de transmissão de dados. Em alguns casos, o fabricante especifica mais de um protocolo com objetivos diferentes ou tipo de receptor diferente. Por exemplo, a Trimble possui o RT17, TSIP (*Trimble Standard Interface Protocol)* e CMR/CMR+ (*Compact Measurement Record* - Registro de Medição Compacto) ou uma combinação desses para aplicações diferentes. Outros protocolos de fabricante conhecidos são os da Leica (LB2), Ashtech (MBEN/PBEN, DBEN), AOA (ConanBinary e TurboBinary), Javad (JPS), Topcon (TPS), u-blox (MBX) e JPL (SOC).

Os tipos de informações que esses formatos podem transportar variam amplamente e são alterados pela capacidade do hardware e exigências. A disponibilidade das especificações desses protocolos também varia. Alguns fabricantes incluem o formato nas suas documentações de hardware, enquanto alguns fornecerão essas informações apenas quando solicitado. Outros tratam isto como dado confidencial e só fornecem as especificações quando um acordo já está em vigor (IGNSS, 2006).

Esses padrões tipo proprietário também são normalmente no formato binário e deste modo são bastante eficientes no uso da largura de banda. Alguns protocolos, como o MBEN/PBEN da Ashtech ou o LB2 de Leica, também podem ser formatados em ASCII. Além de dados provenientes do receptor, a maior parte desses protocolos também fornecem informações para controlar o receptor e modificar as suas configurações (IGNSS, 2006).

Uma questão importante a observar, com relação aos padrões de dados proprietários, é quando se tem uma rede de estações de referência, pois não é viável que o software de gerenciamento da rede não distinga diferentes marcas de receptores. Neste caso, o software deve ser capaz de suportar mais de um determinado protocolo de fabricante.

A seguir serão apresentados mais detalhes dos padrões RTCM 2.3 e 3.1, incluindo as mensagens utilizadas no DGPS e RTK, informações sobre o formato proprietário Trimble CMR\CMR+, que a maioria dos fabricantes incorporou em seus equipamentos, e os meios de transmissão de dados usados atualmente.

Escolheram-se duas das versões do RTCM para uma abordagem mais detalhada. A versão 2.3, que está implementada na maioria dos equipamentos RTK, e a versão 3.1, que possui implementado todos os itens do novo padrão 3.x, incluindo as novas mensagens para aplicação no posicionamento em rede.

3.1 RTCM 2.3

Em 2001, o RTCM SC-104 recomendou os padrões para o GNSS Diferencial, com a publicação da versão 2.3 em substituição a versão 2.2.

Essa versão trouxe atualizações para suprir as necessidades GNSS Diferencial, as quais buscavam refletir os desenvolvimentos dos sistemas de posicionamento por satélite. Foi acrescentado um novo guia de orientação para as aplicações RTK, várias mensagens para melhorar a acurácia, particularmente na definição da estação de referência e material guia para apoiar as operações com o GLONASS (RTCM, 2001).

Tanto no RTCM 2.3 como nos anteriores, as mensagens são separadas por tipos e são identificadas através de seus números, que variam de 1 a 63. Em geral, as mensagens podem ser classificadas nas seguintes condições: fixas, de tentativas ou reservadas. No entanto, havia até o momento 33 mensagens especificadas das 63 possíveis.

As demais mensagens permaneceram reservadas para aplicações futuras. O Quadro 02 ilustra as mensagens e suas utilizações tanto para o DGPS como o RTK.

Quadro 02 –Tipos de mensagem RTCM

Tipo de Mensagem	Status Atual	Nome da Mensagem
1	Fixa	Correções Diferenciais GPS
2	Fixa	Diferenças das Correções Diferenciais GPS
3	Fixa	Parâmetros da Estação de Referência GPS
4	Tentativa	Referencial da Estação de Referência (Datum)
5	Fixa	Saúde da Constelação GPS
6	Fixa	Quadro Nulo GPS
7	Fixa	Almanaque dos Radiofaróis DGPS
8	Tentativa	Almanaque das Estações Pseudolite
9	Fixa	Correções Diferenciais de um Conjunto Parcial de Satélites GPS
10	Reservado	Correções Diferenciais para o Código P
11	Reservado	Correções Diferenciais (C/A, L1 e L2)
12	Reservado	Parâmetros da Estação Pseudolite
13	Tentativa	Parâmetros da Estação de Referência
14	Fixa	Tempo da Semana GPS
15	Fixa	Mensagem do Atraso Ionosférico
16	Fixa	Mensagem Especial GPS
17	Fixa	Dados de Efemérides GPS
18	Fixa	Medida Bruta da Fase da Portadora-RTK
19	Fixa	Medida Bruta da Pseudodistância-RTK
20	Fixa	Correções Diferenciais da Fase da Portadora-RTK
21	Fixa	Correções Diferenciais da Pseudodistância-RTK
22	Tentativa	Parâmetros Estendidos da Estação de Referência GPS
23	Tentativa	Registro de Definição do Tipo de Antena
24	Tentativa	Ponto de Referência da Antena (ARP)
25- 26	...	Indefinido
27	Tentativa	Almanaque dos Radio faróis Estendido
28-30	...	Indefinido
31	Tentativa	Correções Diferenciais GLONASS
32	Tentativa	Parâmetros da Estação de Referência GLONASS
33	Tentativa	Saúde da Constelação GLONASS
34	Tentativa	Correções Diferenciais de um Conjunto Parcial de Satélites (N>1) GLONASS Quadro Nulo para (N≤1)
35	Tentativa	Almanaque dos Radiofaróis GLONASS
36	Tentativa	Mensagem Especial GLONASS
37	Tentativa	Compensação do Sistema de Tempo GNSS
38-58	...	Indefinida
59	Fixa	Mensagem Própria
60-63	Reservado	Uso Multi-Fim

Fonte: Adaptado e traduzido de RTCM, (2001), V2.3.

Cada um dos tipos de mensagem RTCM é formado por uma quantidade $N+2$ de palavras com tamanho de 30 bits cada, sendo N a quantidade de palavras que contém dados na mensagem e 2 o número de palavras do cabeçalho. O número máximo de palavras de dados permitido por mensagem é 31, logo o número máximo de palavras de uma mensagem é de 33 (RTCM, 2001).

As duas primeiras palavras de cada mensagem constituem o seu cabeçalho e contêm dados pertinentes a qualquer tipo da mensagem: informação sobre a estação de

referência, o tempo de referência e as informações necessárias para a sincronização da mensagem pelo usuário, ilustrado na Figura 06.

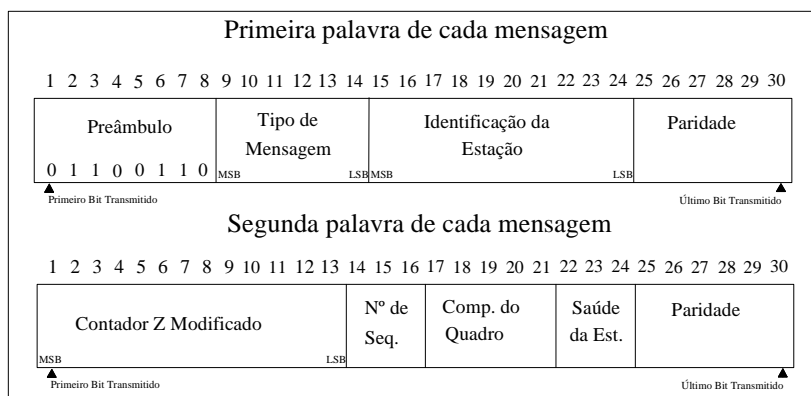



Figura 06 – Duas primeiras palavras de cada quadro das mensagens RTCM 2.3
Fonte: Adaptado e traduzido de RTCM, (2001) V2.3.

As informações contidas no cabeçalho incluem:

- **Preâmbulo –** é utilizado para identificar o sistema de posicionamento, sendo que código 01100110 indica o sistema GPS (SAATKAMP, 2003);
- **Tipo de Mensagem –** que se encontra relacionadas no Quadro 02;
- **ID da Estação –** definido pelo emissor da mensagem;
- **Paridade –** que é indicada pelos últimos 6 bits e são gerados por um algoritmo de paridade, com o finalidade de detecção de erros na transmissão de cada palavra do quadro;
- **Contador Z Modificado –** é o instante de referência da mensagem, dado em segundos de uma hora;
- **Número de Seqüência –** identifica a sequência dos quadros;
- **Comprimento do Quadro –** indica o número de palavras contidas no quadro;
- **Saúde da Estação –** trás a qualidade dos dados da estação de referência.

Como apresentado, os quadros das mensagens são compostos por duas palavras iniciais descritas anteriormente e, somadas a essas duas palavras, seguem as mensagens específicas referente aos dados que são enviados da estação base para a estação móvel.

3.2 RTCM 3.1

A versão 3.0 do padrão RTCM foi desenvolvida como uma alternativa mais eficiente aos documentos RTCM nas versões 2.x. Devido aos pedidos de fornecedores e vendedores, representantes do Comitê Especial-104 propuseram um novo padrão, mais eficiente, fácil de usar e mais fácil de adaptar as atualizações. Haviam reclamações, principalmente do esquema de paridade das versões 2.x, que usam palavras com 24 bits de dados seguidos por 6 bits da paridade, desperdiçando a largura de banda. Outra reclamação foi que a paridade é bastante dependente de palavra por palavra. Então o novo padrão, nas versões 3.x, é destinado a corrigir essas deficiências (RTCM, 2004).

O lançamento inicial do novo padrão em 2004, isto é, a Versão 3.0, cumpriu com o objetivo de suportar operações cinemáticas em tempo real (RTK), e depois em 2006, com o lançamento da versão 3.1, indicada como padrão RTCM 10403.1, em que incorpora correções de Rede GPS e permite a um receptor móvel obter as informações corretas para o RTK dentro de uma grande área. Vale ressaltar que a versão 3.x possibilita a transmissão de uma quantidade maior de informações, permitindo assim a realização de muitas aplicações que requerem a transmissão de grande quantidade de dados, como o RTK em rede (RTCM, 2006).

O RTCM 3.1 contém mensagens que suportam dados GPS e GLONASS para o RTK, incluindo observações do código e da fase da onda portadora, parâmetros da antena, parâmetros auxiliares do sistema e também uma mensagem de texto Unicode é fornecida para a transmissão de dados textuais. Finalmente, um conjunto de mensagens foi reservado para os fabricantes que queiram encapsular dados proprietários nas suas transmissões. Essa versão também descreve as técnicas para apoiar as operações utilizando uma rede de estações de referência. Contudo, o novo formato é especificamente projetado para acomodar novos sistemas que estão em fase de desenvolvimento, Galileo especialmente, bem como modificações a sistemas existentes (por exemplo, novos sinais GPS L2C e L5). Ele também pode acomodar sistemas de aumento que utilizam satélites geoestacionários chamados SBAS. O primeiro desses sistemas a ser implementado é o WAAS, que foi desenvolvido pela Administração da Aviação Federal dos Estados Unidos para complementar o GPS. O próximo a ser implementado será o EGNOS, que tem como objetivo dar aumento tanto para o GPS como para o GLONASS (RTCM, 2006).

O desenvolvimento do padrão RTCM 3.1 tem como objetivo fornecer a integridade e capacidade para aplicações existentes e futuras de uma maneira eficiente. Para

promover tais qualidades esse padrão é definido em camadas adaptadas de um *Open System Interconnection* (OSI[6] - Interconexão de Sistemas Abertos). As camadas do sistema OSI, obtidas do modelo de referência padrão, adotadas no padrão RCTM são de aplicação, de apresentação, de transporte, de comunicação e camada física.

3.2.1. Camada de aplicação

A camada de aplicação específica como as mensagens da versão 3.1 do RTCM SC-104 são passíveis de serem utilizadas em diferentes aplicações. A característica fundamental desta camada é basicamente o de enviar os dados aos usuários (serviço de transmissão de dados) e não há uma conexão de dados bi-direcional (em duas direções). Normalmente as informações são geradas por um servidor (Provedor), que tem um interesse institucional ou comercial no fornecimento do serviço de navegação ou posicionamento (RTCM, 2006).

Em geral, as aplicações na navegação que requerem precisão de 1-10 metros já estavam servidas, mas com o surgimento de inúmeras aplicações com acurácia sub-métrica aumenta a importância dos serviços como o RTK. As aplicações do RTK no ar, água e operações terrestres são numerosas e não seria possível citá-las aqui, mas as principais são:

- Marítimas: levantamentos hidrográficos, operações com draga, navegação em canais estreitos, altura de marés, colocação e revisão de bóias;
- Aéreas: levantamentos aéreos, testes de sistemas de pouso, calibração de outros sistemas de navegação;
- Terrestres: levantamentos, construção de edifícios e pontes, mineração na superfície, agricultura, construção de estradas, locação de recursos e manejo.

Finalmente, conclui-se que as exigências RTK de todas essas aplicações diferentes não variam muito, e são: a largura de banda do *link* de transmissão e as taxas de atualização que são determinadas principalmente pelas exigências em termos de acurácia e as obstruções do sinal (RTCM, 2006).

---

[6] O modelo OSI é dividido em camadas hierárquicas, ou seja, cada camada usa as funções da própria camada ou da camada anterior, para esconder a complexidade e transparecer as operações para o usuário (TANENBAUM, 2003).

3.2.2. Camada de apresentação

As informações contidas nessa seção foram baseadas no documento publicado pelo RTCM para a versão 3.1 (RTCM, 2006).

O RTCM 10403.1 é escrito em um formato de banco de dados, visando uma distribuição centralizada dos dados. As mensagens RTK GPS e GLONASS são definidas de forma a evitar a colocação de identificadores (*flags*) nas mensagens, pois isso muda o comprimento ou o significado dos dados nas mensagens. No entanto, possuem algumas variabilidades que não podem ser evitadas, pois o número de satélites utilizados nas aplicações não é fixo. Contudo, é possível determinar o número de satélites examinando o comprimento da mensagem, visto que o número de satélites é a única quantidade variável. Para mensagens cujos comprimentos em bytes não sejam equivalentes, o programador da estação de referência deve utilizar zeros para preencher os bytes restantes não preenchidos.

Os tipos de mensagens contidas nas atuais versões 3.x foram estruturadas em diferentes grupos, divididos de acordo com uma determinada operação ou serviço. Em termos operacionais o gerenciador do serviço deve transmitir pelo menos uma mensagem de cada um dos vários grupos, como mostra o Quadro 03. Em especial, dos seguintes grupos: Observação, Coordenadas da Estação e Descrição de Antena.

Os diferentes tipos de mensagem de cada grupo contêm no seu conteúdo informações semelhantes. No entanto, as mais curtas contêm o mínimo necessário para fornecer o serviço. Já os outros tipos de mensagem contêm informações adicionais para aumentar o desempenho de um determinado serviço. Por exemplo, a mensagem tipo 1001 contém a versão mais curta de uma mensagem de observações GPS, nomeada de observável L1. Essa mensagem deverá ser adotada quando se tem um *link* de comunicação limitado com relação à capacidade de transmissão de dados. Já a mensagem tipo 1002 contém todas as informações que a mensagem tipo 1001 contém, porém com informações adicionais que podem acrescentar melhorias em determinadas aplicações.

Quadro 03 – Grupos de mensagens RTK

Nome do grupo	Nome do sub-grupo	Tipo da mensagem
Observações	GPS L1	1001
		1002
	GPS L1/L2	1003
		1004
	GLONASS L1	1009
		1010
	GLONASS L1/L2	1011
		1012
Coordenadas da estação		1005
		1006
Descrição da antena		1007
		1008
Correções RTK em rede	Dados auxiliares das estações da rede	1014
	Diferenças de correções ionosféricas	1015
	Diferenças de correções geométricas	1016
	Diferenças das correções ionosféricas e geométricas combinadas	1017
Inf. auxiliares	Parâmetros do sistema	1013
	Dados de efemérides dos satélites	1019
		1020
	String de texto	1029
Informações proprietárias		Atualmente designadas de 4088 a 4095

Fonte: Adaptado e traduzido de RTCM (2006), V3.1.

No Quadro 04 a seguir, são apresentadas as mensagens disponíveis na versão 3.1 para os diferentes serviços RTK. Estão separadas pelos sistemas suportados nessa versão: GPS; GLONASS; e a combinação GPS/GLONASS. Porém, como a constelação GLONASS hoje não está completamente operacional, os tipos de serviços prováveis serão o GPS e a combinação GPS/GLONASS.

Quadro 04 – Tipos de mensagens que suportam diferentes níveis de serviço RTK

Serviço	Grupo	Receptores móveis (requerimento mínimo de decodificação)	Tipos de mensagem da estação de referência	
			Serviço mínimo de operação	Serviço completo de operação
GPS apenas L1	Observações (GPS)	1001 – 1004	1001	1002
	Descrição da Estação	1005 e 1006	1005 ou 1006	1005 ou 1006
	Descrição da Antena	1007 e 1008	1007 ou 1008	1007 ou 1008
	Informação Operacional Auxiliar			1013
GPS RTK, L1 e L2	Observações (GPS)	1003 – 1004	1003	1004
	Descrição da Estação	1005 e 1006	1005 ou 1006	1005 ou 1006
	Descrição da Antena	1007 e 1008	1007 ou 1008	1007 ou 1008
	Informação Operacional Auxiliar			1013
GLONASS apenas L1	Observações (GLONASS)	1009 – 1012	1009	1010
	Descrição da Estação	1005 e 1006	1005 ou 1006	1005 ou 1006
	Descrição da Antena	1007 e 1008	1007 ou 1008	1007 ou 1008
	Informação Operacional Auxiliar			1013
GLONASS RTK	Observações (GLONASS)	1011 – 1012	1011	1012
	Descrição da Estação	1005 e 1006	1005 ou 1006	1005 ou 1006
	Descrição da Antena	1007 e 1008	1007 ou 1008	1007 ou 1008
	Informação Operacional Auxiliar			1013
GPS e GLONASS apenas L1	Observações (GPS)	1001 - 1004	1001	1002
	Observações (GLONASS)	1009 - 1012	1009	1010
	Descrição da Estação	1005 e 1006	1005 ou 1006	1005 ou 1006
	Descrição da Antena	1007 e 1008	1007 ou 1008	1007 ou 1008
	Informação Operacional Auxiliar			1013
GPS e GLONASS RTK, L1 e L2	Observações (GPS)	1003 - 1004	1003	1004
	Observações (GLONASS)	1011 - 1012	1011	1012
	Descrição da Estação	1005 e 1006	1005 ou 1006	1005 ou 1006
	Descrição da Antena	1007 e 1008	1007 ou 1008	1007 ou 1008
	Informação Operacional Auxiliar			1013
GPS RTK em rede	Observações (GPS)	1003 - 1004	1003	1004
	Descrição da Estação	1005 e 1006	1005 ou 1006	1005 ou 1006
	Descrição da Antena	1007 e 1008	1007 ou 1008	1007 ou 1008
	Informação Operacional Auxiliar			1013
	Correções RTK em rede		1014	1014
			1017	1015 e 1016

Fonte: Adaptado e traduzido de RTCM (2006), V3.1.

Para viabilizar os serviços, o receptor móvel (do usuário) deve ser projetado para decodificar todos os tipos de mensagens de um grupo, mesmo que toda informação não seja processada. Por exemplo, decodificando a mensagem tipo 1002, os dados das observáveis RTK compatíveis com a mensagem tipo 1001 podem ser utilizados, já as informações adicionais podem ser ignoradas. O mesmo acontece se o receptor móvel só funcionar com L1:

ainda assim deve ser projetado para decodificar os tipos de mensagem 1003 e 1004 e ser capaz de extrair a informação L1 (RTCM, 2006).

3.2.3. Camada de transporte

A camada de transporte define a estrutura para enviar ou receber mensagens da versão 3. O propósito de definir esta camada é assegurar que dados RTCM possam ser decodificados corretamente pelas aplicações (ex: DGPS e RTK). A troca de dados precisa ter sua estrutura estabelecida antes da transferência para a aplicação. Para aplicações de alta integridade, o provedor precisa mostrar que a integridade adequada é mantida durante o processo de montar e desmontar a estrutura dos quadros na camada de transporte. A estrutura básica dos quadros consiste em um preâmbulo fixo, a definição do tamanho da mensagem, a mensagem e 24 *bits* para Checagem de Redundância Cíclica (*Cyclic Redundancy Check* - CRC[7]) para transferência de dados de alta integridade (RTCM, 2006). O método CRC é uma técnica para descobrir erros em dados digitais, mas não para fazer correções quando os erros são descobertos. A estrutura do formato dos quadros é apresentada no Quadro 05.

Quadro 05 – Estrutura dos quadros na versão 3.x

Início	**Reservados**	**Tamanho da Mensagem**	**Tamanho variável dos dados da mensagem**	**CRC**
8 bits	6 bits	10 bits	Tamanho Variável, número inteiro de bytes	24 bits
11010011	Não definido – setado como 000000	Tamanho da mensagem em bytes	0 – 1023 bytes	Algoritmo QualComm CRC-24Q

Fonte: Adaptado e traduzido de RTCM (2006), V3.1.

O preâmbulo é fixado numa sequência de 8 bits. Os próximos seis *bits* são reservados e devem ser estabelecidos zeros para todas as mensagens. Em versões futuras, estes bits poderão conter a transmissão da identificação da estação e/ou uma sequência de contagem.

As mensagens de tamanho variável dependem das informações exigidas (RTK, L1 e L2). Se o link de dados requer mensagens curtas para manter um fluxo contínuo

[7] No método CRC, certo número de bits de cheque são anexados à mensagem que é transmitida. O receptor pode determinar se os bits de cheque concordam com os dados, apurando com certo grau da probabilidade se um erro ocorreu na transmissão (WARREN, 2003).

de dados, o tamanho das mensagens deve ser colocado “0”, provendo uma mensagem com 48 bits de tamanho porque o tamanho da mensagem de dados será zero.

A versão 3.1 utiliza o algoritmo *QualComm* CRC com permissão. Nesse algoritmo, vinte e quatro *bits* de paridade CRC proporcionam proteção contra uma curta sequência de erros ou erros aleatórios (RTCM, 2006).

3.2.4. Camada de enlace dos dados

A camada de enlace dos dados das mensagens é codificada na camada física. Isso pode incluir controle de fluxo, empacotamento ou checagem de erros adicionais. Isto é definido pelo provedor do serviço, que define esta camada como apropriada para a aplicação (RTCM, 2006).

3.2.5. Camada física

A camada física define como os dados das mensagens são carregados ao nível eletrônico e mecânico. Por exemplo: MSK (*Minimum-Shift Keying)*, UHF (*Ultra High Frequency*), Modem de VHF (*Very High Frequency*), subportadora FM (*Frequency Modulation)*, link de Satélite, cabo fixo (RTCM, 2006).

3.3 CMR/CMR+

Diferentemente dos outros protocolos discutidos nas seções anteriores, o CMR foi desenvolvido por um fabricante de receptores, a Trimble, e foi publicada por Talbot (1996). Desde então, outros fabricantes como Leica, Ashtech, NovAtel, Topcon entre outros incluíram suporte ao CMR nos seus receptores. O CMR forneceu uma alternativa mais eficiente de uso de largura de banda as versões 2.x RTCM para os usuários RTK GPS. Já o CMR+ é uma versão melhorada do CMR (TALBOT, 1997), padrão que possui um pico maior de rendimento máximo (IGNSS, 2006).

Segundo Talbot (1996) o formato CMR abrange um protocolo de mensagem mais um algoritmo de compressão dos dados de medição. Todo o bloco de mensagem CMR é encapsulado dentro de seis bytes que enquadram cabeçalho/fim (*header/tail*), como mostra a Quadro 06.

Quadro 06 – Definição de Pacote de Registro de Medição Compacto (CMR)

Parâmetros	Número de bytes	Descrição
STX	1	Início da transmissão
Status	1	Estado em bytes
Tipo	1	Tipo de mensagem CMR: 0 - observáveis ; 1- localização ;2 - descrição
Comprimento	1	Tamanho da mensagem em bytes
Bloco de Dados	Como por definição	Dados da mensagem como definido
Checksum	1	Calcular o checksum de dados usando (Status+tipo+compri+Bloco de dados) mod 256
ETX	1	Fim do identificador de Transmissão

Fonte: Adaptado e traduzido de TALBOT (1996).

O quadro possui campos para definição do Pacote CMR:

- Início do identificador de transmissão;
- O tipo de mensagem CMR;
- Comprimento da mensagem;
- Mensagem de Registro da Medição Compacta;
- Checksum verificação do número de bits que estão sendo transferidos para descobrir erros na transferência;
- Fim do identificador de Transmissão.

No protocolo há três tipos de mensagens definidas para o posicionamento RTK:

- Medições (Observáveis);
- Posição da Estação de Referência;
- Descrição das Estações de Referências.

Dentro de cada tipo das três mensagens tem-se um cabeçalho e uma seção de dados. O Cabeçalho contém as seguintes informações:

- Número de versão da mensagem;
- Identificador da Estação;
- Tipo de mensagem;
- *flag* de bateria baixa;

- Instante de coleta (epoch time);
- Correção de relógio.

Convém chamar a atenção que, com o desenvolvimento do padrão CMR/CMR+, foi possível minimizar pela metade as exigências em termos de largura de banda para transmissão dos dados necessários ao posicionamento RTK, se comparado ao padrão de mensagem RTCM (versão 2.x) equivalente. Com isto, a utilização desse formato de dados tornou-se muito comum não só nos produtos da Trimble, mas de vários outros fabricantes, por exemplo, pode-se citar o uso em redes como a CORS em Victoria (Austrália), SydNet em New *South Wales* (Austrália), CATNET na Catalunha (Espanha), SERVIR (Portugal), que funcionam disponibilizando dados no formato CMR/CMR+. Isto porque os diferentes desenvolvedores de *softwares* para o posicionamento RTK em rede disponibilizaram o formato CMR/CMR+ como opção, tais como o *GPSNet* da Trimble, o *Spider* da Leica e o *SIMRSN* da *University of New South Wales* (UNSW) (IGNSS, 2006).

3.4 Meios de transmissão de dados

A arquitetura de uma rede que dê suporte ao RTK em rede compreende um conjunto de estações de referência GNSS, um centro de controle e um ou mais sistemas de comunicação, que permita receber dados GNSS das estações de referência e comunicar com os usuários, enviando-lhes os dados pretendidos.

Com relação aos sistemas de comunicação há varias possibilidades. Talbot (1996) especificou quais as opções de enlace (*links*) de comunicação podem ser usados para a transmissão de dados nas técnicas diferenciais:

- rádio/modem, via VHF ou UHF;
- linha telefônica móvel ;
- sub-portadora FM (RDS);
- internet sem fio.

Dessa forma, nas seções seguintes serão apresentados mais detalhes sobre os meios (*links*) mais comuns utilizados para a transmissão de dados RTK/RTK em rede.

3.4.1 Transmissão via rádio

Para a utilização de rádios transmissores segundo recomendação da RTCM SC-104 deve-se operar com taxa de transmissão de pelo menos 2.400 bits por segundo (RTCM, 2001).

Em tese, qualquer faixa do espectro eletromagnético poderia ser utilizado para realizar o enlace. No entanto, deve-se utilizar a faixa do espectro eletromagnético, conhecida por radiofrequência. No Brasil, há um documento (denominado: Tabela de Atribuição, Destinação, Distribuição e Regulamentação de Faixas de Freqüências no Brasil**)** publicado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) que regulamenta a distribuição das faixas e define a utilização da faixa de frequência contida no VHF ou UHF para esta finalidade (SAATKAMP, 2003).

Outro ponto a ser considerado é que, para obter a acurácia RTK, deve-se utilizar freqüências na faixa de VHF ou UHF para transmissão e recepção, como pode ser observado no Quadro 07. Além disso, VHF ou UHF caracterizam-se pelo baixo custo, baixa potência e taxa de transferência elevada (FREIBERGUER JUNIOR, 2002).

Quadro 07 – Faixas de frequência versus precisão

DISTÂNCIA	PRECISÃO ALMEJADA				
	100m	10	10-3 m	3-1m	<10 cm
1000 km	Não Necessário	BANDA-L (INMARSAT) 1200 bps	BANDA-L (INMARSAT)	BANDA-L (INMARSAT)	
< 700 km		BANDA-LF 50 bps			
<300 km		BANDA-MF (BANDA-HF) 200 bps	BANDA-MF (BANDA-HF)		
20 -50 km		BANDA VHF/UHF 2400 bps	BANDA VHF/UHF 2400 bps	BANDA VHF/UHF 2400 bps	BANDA VHF/UHF 2400 bps

Fonte: HUMBER[8] (1994) apud KRUEGUER[9] (1996) apud FREIBERGUER JUNIOR (2002)

Para cada faixa de onda do espectro eletromagnético propagada, um determinado comportamento diferente é apresentado. Nas faixas VHF e UHF as ondas se

[8] HEIMBERG, F.. **Untersuchungen zum operationellen Einsatz des Differential GPS**. 1994, Doktor dissertation, Nr.202. Institut für Erdmessung, Universität Hannover, Hannover.
[9] KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. 267 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná.

caracterizam por terem seu alcance limitado à linha de visada entre as antenas, transmissora e receptora, ou pouco mais que isso, dependendo das características do relevo.

Para aplicações RTK, o alcance do link de comunicação impõe a distância máxima entre uma estação móvel e a estação de referência. Por exemplo, num terreno ondulado aberto, um rádio/modem produzindo 1 (Um) Watt de potência, configurado numa freqüência de 900 MHz forneceria uma cobertura externa apropriada para alguns quilômetros (TALBOT, 1996). Em geral, alguns fabricantes especificam que seus sistemas terão alcance menores que 10 Km. Já Langley (1998) limita seu uso na maioria das vezes a distâncias menores que 4,3 km. Segundo o autor, operar nas freqüências VHF e UHF limitam seu uso à linha de visada “d” cujo valor aproximado pode ser dado pela equação:

$$d = 3{,}57\sqrt{k}\left(\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r}\right), \tag{2.13}$$

onde:
d : alcance do sinal em quilômetros;
h_t : altura em metros da antena transmissora[10];
h_r : altura em metros da antena receptora;
k : fator de influência da refração atmosférica (k = 1,33 para climas temperados).

Em casos onde se necessita de uma maior cobertura, os usuários podem empregar repetidoras de rádio. Em áreas residenciais compostas de prédios e obstáculos perto da linha de visada do rádio pode haver dificuldade nas operações e, nesse caso, pode-se utilizar redes de telefone celular, as quais atendem as necessidades.

3.4.2 Transmissão de dados via rede de telefonia móvel

Nas últimas décadas a evolução tecnológica tem provocado transformações na sociedade em geral, possibilitando o desenvolvido de novas aplicações, principalmente as apoiadas nos grandes avanços da Internet em sistemas móveis. No que diz respeito à capacidade de transmissão de dados, é crescente a utilização deste meio de comunicação em aplicações GNSS como o DGPS, DGPS em rede, RTK e RTK em rede. Pode-se ressaltar que,

[10] As alturas das antenas transmissora (h_t) e receptora (h_r) é tomada em relação a um plano de referência, acima de um horizonte comum (altura média).

em aplicações desse tipo, é necessário realizar o transporte de dados de uma estação referência até o usuário, ou de uma rede de estações de referência. Por conseguinte, uma conexão bidirecional entre o usuário e o centro de controle é necessária, principalmente quando-se utiliza o conceito de VRS em tempo real (RETSCHER, 2002).

A conexão pode ser realizada via rede de telefonia móvel, em substituição ao *link* de rádio. Atualmente utiliza-se a tecnologia *Global System for Mobile communications* (GSM) ou as evoluções do sistema, como o *General Packet Radio Service* – (GPRS), o *Enhanced Data rates for GSM Evolution* (EDGE) e *Universal Mobile Telecommunication Service* (UMTS). Entretanto, quando se utiliza uma rede GSM para acessar a internet, passa-se por uma estrutura de camadas de protocolos, em suma baseada no modelo de referência para interconexões de sistemas abertos (OSI *Open Systems Interconnetion*) (SVERZUT, 2005).

A transmissão de dados através da Internet depende de um protocolo, ou de vários. Mais especificamente, protocolo é o nome dado ao conjunto de regras que organizam o envio e recebimento de informações de forma estável e funcional. Sendo que, para a Internet foram criados os protocolos chamados *Transmission Control Protocol* (TCP) e *Internet Protocol* (IP) que têm como característica principal a identificação unívoca de cada dispositivo ligado à rede, chamado endereço IP (KUROSE e ROSS, 2006).

Numa arquitetura em camadas permite-se discutir uma parcela específica e definida de um sistema grande e complexo. Essa organização dos protocolos básicos da Internet em camadas distintas promove uma estrutura modular, fazendo com que a implementação do serviço prestado pela camada fique muito mais fácil de ser modificado. Deste modo, quando a implementação de uma camada é alterada, o restante do sistema fica inalterado, desde que forneça o mesmo serviço (KUROSE e ROSS, 2006).

Cada camada utiliza os serviços providos por protocolos das camadas inferiores e ao mesmo tempo prestam serviços para os protocolos das camadas superiores (SVERZUT, 2005). O Quadro 08 apresenta a pilha de protocolos.

Quadro 08 – Pilha de protocolo divido em camadas

Aplicação	HTTP, FTP, SMTP ....
Transporte	TCP e UDP
Rede	IP
Enlace de dados	Roteadores
Física	Meios de transmissão (ex: *Fios de cobre ou fibra ótica*)

Fonte: Adaptado de (SVERZUT, 2005).

Uma camada de protocolo pode ser implementada em *software*, em *hardware*, ou na combinação dos dois. Protocolos de camadas de aplicação como HTTP e SMTP em geral fazem parte de sistemas finais (ex: computadores, celulares, etc.), o mesmo acontece com protocolos da camada de transporte. As camadas física e de enlace de dados são responsáveis pelo manuseio da comunicação e são implementadas em placas de interface de rede (ex: placas de Ethernet ou Wi-Fi). A camada de rede quase sempre tem uma implementação mista de *hardware* e *software* (KUROSE e ROSS, 2006).

Assim, a partir do entendimento geral da estrutura de camadas utilizada na Internet, passa-se a próxima seção para descrever de forma rápida as tecnologias de acesso a Internet usando infra-estrutura de telefonia móvel, mostrando suas características e evoluções.

3.4.2.1 Tecnologias de acesso a internet móvel

O sistema GSM é uma tecnologia que teve um grande sucesso e uma rápida expansão. Em 1982 foram iniciadas as primeiras pesquisas para o desenvolvimento do GSM e em menos de duas décadas tornou-se a tecnologia mais utilizada. Hoje está presente em 218 países e é utilizado por várias empresas de telecomunicação. Cabendo salientar que nos dias atuais a tecnologia GSM representa 86,34% do mercado no Brasil (TELECO, 2009).

Os conhecimentos sobre o GSM foram disseminados a partir dos comitês do Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações (*European Telecommunication Standard Institute* – ETSI). O primeiro padrão originalmente desenvolvido foi o P-GSM ou GSM 900. Esse padrão utiliza uma frequência na banda de 900 MHz e foi projetado para operação em uma área ampla. Depois surgiram:

- O E-GSM para aumentar a capacidade de canais de rádio frequência (RF) oferecido pelo P-GSM;
- O R-GSM para aumentar a capacidade de canais RF oferecido pelo E-GSM;
- O GSM 1800 surgiu para a ampliação das bandas reservadas ao GSM e mudança para a faixa de 1,8 GHz que possibilitou aumentar ainda mais o número de canais de RF;
- O padrão GSM 1900 foi desenvolvido para oferecer uma quantidade maior de serviços aos usuários de telefonia móvel celular e opera na faixa de 1,9 GHz (SVERZUT, 2005).

Os serviços GSM foram desenvolvidos à medida que a demanda por novas aplicações cresceu. A seguir têm-se as três fases de evolução da tecnologia GSM:

- Fase 1:
  - Telefonia (voz) e chamadas de emergência;
  - SMS (serviço de mensagem curta);
  - Dados (0,3 – 9,6 Kbps);
  - Transmissão de pacotes assíncronos;
- Fase 2:
  - Tele serviços;
  - Voz a meia taxa (*half rate*);
  - Melhorias no SMS;
  - Pacotes de dados com taxa de 2,4 a 14,4 Kbps;
  - Serviços adicionais como: identificador de chamadas, restrição de chamada, chamada em espera, entre outros;
- Fase 2^{+}:
  - Fase que introduziu o serviço de dados por pacotes e altas taxas de transmissão (GPRS).

Analisando a evolução dos sistemas móveis de telefonia pode-se dizer que a primeira geração (1G) foi totalmente analógica. A segunda geração (2G) foram de sistemas digitais, predominante apoiada na tecnologia GSM e com baixa taxa de transmissão de dados. Entretanto, a mudança do perfil dos usuários, graças ao desenvolvimento da Internet, norteou a evolução dos sistemas de telefonia móvel, de modo a permitir ao usuário o acesso à internet em alta velocidade a partir de seu celular. Esse fato desencadeou o desenvolvimento da terceira geração (3G) da telefonia móvel, por exemplo, o *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) que permitem o acesso à internet em alta velocidade (SVERZUT, 2005). A Figura 07 mostra a evolução dos padrões de telefonia móvel.

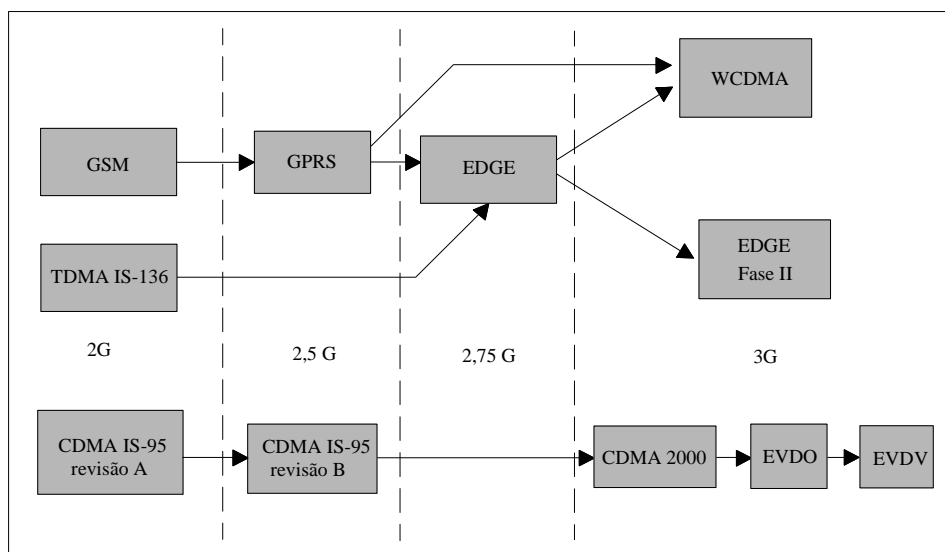



Figura 07 – Evolução dos padrões celulares
Fonte: Adaptado de (SVERZUT, 2005).

Pode-se ver que a evolução das tecnologias, provocadas pela mudança do perfil dos usuários, está sendo implementada em novos serviços e aplicações nas redes GSM. As redes atualmente oferecem os serviços 2,5G GPRS, 2,75G EDGE e os sistemas móveis de terceira geração UMTS (WCDMA).

Os serviços disponibilizados na tecnologia GPRS utilizam os recursos já existentes na rede GSM. Entretanto incorporam a comunicação de dados pelo protocolo IP, que possibilita a comunicação por e-mail, fax, acesso à Internet, comércio eletrônico (e-commerce), venda de ingressos, e acesso a bancos e compras pela internet.

A rede GSM suporta tanto a comutação de circuito como a de pacote. Na rede GSM de comutação de circuitos transmite-se os dados de voz. Já na rede GPRS faz-se a comutação de pacotes (*Packet Data* – PD) para a transferência de dados via rede sem fio, o que provê mobilidade aos usuários. Cabe ressaltar que a maioria das aplicações implementadas para a rede GPRS utilizam o protocolo IP.

A tecnologia EDGE é uma evolução da tecnologia GPRS, também é conhecida como GPRS Melhorado (*Enhanced General Packet Radio Service* – EGPRS). A rede EDGE é idêntica à rede GPRS. A única diferença está na interface aérea, especificamente a de rede, que suporta a modulação 8-PSK (*Phase-shift keying*) a qual permite uma transmissão de dados três vezes maior do que a *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK – Modulação estreita da faixa) utilizada na rede GPRS. O esquema de modulação utilizando oito símbolos (3 bits/símbolo), proporciona uma melhor eficiência espectral, enquanto a GMSK utiliza apenas dois símbolos (1 bit/símbolo) (SVERZUT, 2005).

Para o usuário, as principais diferenças entre as tecnologias GSM, GPRS e EDGE estão associadas à taxa de transmissão. No Quadro 09 é possível identificar a taxa máxima de transmissão para cada tecnologia.

Quadro 09 – Principais diferenças entre as tecnologias GSM, GPRS e EDGE

Tecnologia	Serviço	Taxa de transmissão máxima por TS (*time slot*) [kbits/s]	Taxa de transmissão máxima por quadro (8*TS-*time slot*)[kbits/s]
GSM	Voz	13	13
	Dados por comutação de circuitos	14,4	14,4
GPRS	Voz	13	13
	Dados por comutação de pacotes	21,4	171,2
EDGE	Voz	13	13
	Dados por comutação de pacotes	59,2	473,6

Fonte: Adaptado de (SVERZUT, 2005).

Finalizando, o padrão UMTS representa a terceira geração (3G) da tecnologia e traz a evolução em termos de capacidade, taxa de transmissão de dados, incremento nos serviços e nas facilidades oferecidas pelos sistemas celulares. Na prática, o padrão UMTS está relacionado com a tecnologia WCDMA. Entretanto, não é a única opção para os padrões 3G, há também o padrão CDMA2000 (SVERZUT, 2005). O WCDMA ou UMTS é um padrão que mantém a compatibilidade com o núcleo da rede GSM/GPRS, mas introduz um novo padrão de interface aérea baseada no CDMA. Onde, existem dois modos padronizados para o WCDMA: *Frequency Division Duplex* (FDD) e *Time Division Duplex* (TDD) (TELECO, 2009). Além disso, mais de 93% das redes WCDMA comerciais lançaram atualizações de seus serviços em banda larga para HSPA (*High Speed Packet Access).* O levantamento feito pela GSA (*The Global mobile Suppliers Association*) revela que mais de um terço destes serviços estão aptos a suportar versões de aparelhos HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access),* com velocidades maiores e pico de até 7.2 Mbps (GSA, 2009).

4 SISTEMAS DISPONÍVEIS PARA RTK EM REDE

4.1 Introdução

Nesse capítulo serão apresentados alguns dos *softwares* disponíveis para realizar o RTK em rede. Serão destacados principalmente os que foram desenvolvidos para gerenciar e disponibilizar dados a partir de uma rede de estações GNSS de referência. Dentre esses *softwares*, o GPSNet e o GNSS *Spider* foram desenvolvidos por fabricantes de equipamentos, SIMRSN e o da FCT/Unesp em centros de pesquisas e o GNSMART pela empresa Geo++ (GeoService® Satellitengestützte Vermessungen GmbH)

O fabricante de receptores Trimble desenvolveu o *software* GPSNet para o gerenciamento das estações de referência. Este *software* arquiva (para serviços pós-processados) e processa simultaneamente os dados das estações, época por época, para disponibilizá-los aos usuários que realizam o posicionamento em rede tanto com o RTK quanto com o DGPS. O Trimble GPSNet permite ao administrador da rede gerenciar um grande número de estações de referência GNSS interligados por uma rede, a qual pode abranger uma grande área geográfica (TRIMBLE, 2006).

Outro fabricante de equipamentos que também desenvolveu seu *software* para o gerenciamento e a disponibilização de dados de uma rede de estações aos usuários foi a Leica. Com o *software* denominado de *GNSS Spider* é possível, a partir de um centro de controle, administrar as operações de uma estação de referência ou uma rede de estações. Em geral, o Leica GNSS *Spider* disponibiliza diferentes serviços aos seus usuários, como por exemplo, RTK em rede e dados para pós-processamento (LEICA, 2009).

Entretanto, o GPSNet e o GNSS *Spider* não são os únicos sistemas disponíveis para o posicionamento a partir de uma rede de estações de referencia. Algumas instituições de pesquisa estão desenvolvendo seus *softwares* para o posicionamento em rede, dentre os quais, pode-se citar:

- O *software* SIMRSN (*Singapore Integrated Multiple Reference Station Network)* foi desenvolvido em conjunto com o Laboratório de Agrimensura e Mapeamento da escola de Engenharia Civil e Ambiental, da Universidade Tecnológica de Nanyang, Singapura, Grupo de Posicionamento e Navegação por Satélite (SNAP), da escola

de Agrimensura e Sistemas de Informações Espaciais da Universidade de *New South Wales* (UNSW), na Austrália, e o Departamento de Inspeção da Terra de Singapura. Mais especificamente, ficando a cargo do SNAP a responsabilidade de desenvolver o software para o RTK em rede (UNSW, 2009);

- Atualmente, pesquisadores da FCT/Unesp, Departamento de Cartografia, estão desenvolvendo um *software* para posicionamento em rede, o FCT-RTK, inicialmente para modo pós-processado aplicando o conceito de VRS. Em uma segunda etapa para aplicações em tempo real.

Já o *software* GNSMART (*GNSS State Monitoring and Representation Technique*) não foi desenvolvido por empresas fabricantes de equipamentos nem por centros de pesquisa, mas pela Geo++, uma empresa fundada em 1990 na cidade de Garbsen, na Alemanhã, com o objetivo de desenvolver soluções para o posicionamento estático e/ou cinemático, geodésia, navegação entre outras. O *software* GNSMART contém todos os componentes necessários para monitorar e representar a condição do sistema GPS e GLONASS. Para tanto, utiliza-se estações de referência, com espaçamento de 50 km ou mais, na qual fornece a cobertura completa de dados para que o usuário determine sua posição em tempo real com acurácia de centímetros.

Os *softwares* citados anteriormente normalmente funcionam em um centro de controle, onde recebem os dados de todas as estações de referência. Dessa forma, fazem o ajuste simultâneo e a modelagem das observáveis para permitir a determinação do erro ionosférico, do atraso troposférico, erro de órbita e a determinação das ambiguidades. Usando esses parâmetros o *software* recalcula os dados GNSS e interpola para combinar com a posição do usuário, que pode estar em qualquer local dentro da área de abrangência da rede (TRIMBLE, 2006; Geo++, 2009).

Durante o desenvolvimento dessa pesquisa o sistema efetivamente utilizado foi o da Trimble, denominado de GPSNet, razão pela qual será apresentado em detalhe.

4.2 GPSNet

As informações contidas nessa seção foram baseadas no guia do usuário do *software* Trimble GPSNet (TRIMBLE, 2006).

Há dois tipos de processadores disponíveis no ambiente do GPSNet para posicionamento em rede : RTKNet ™ e DGPSNet ™. Ambos os processadores servem a múltiplos usuários VRS simultâneos e provêem a esses usuários dados de correção as suas medidas.

Com o módulo RTKNet é possível gerar correções de rede e disponibilizá-las aos usuários num fluxo continuo na forma de VRS ou na forma de correções SAPOS FKP[11]. Assim, esse método de posicionamento baseado em redes de estações de referência melhora consideravelmente o alcance do RTK.

A estrutura funcional do GPSNet pode se dividir em três categorias :

- Coleta de Dados das estações de Referência;
- Armazenamento e Processamento no centro de controle;
- Transmissão dos dados e/ou correções aos usuários do sistema.

As estações de referência estão conectadas ao centro de controle através de redes como *leased lines*, *frame relay* ou outro *link* de comunicação. A interface TCP/IP evita as limitações físicas das portas seriais do servidor com o GPSNet e permite um número ilimitado de conexões de estações de referência.

Os dados das estações de referência podem ser fornecidos em múltiplos formatos de arquivo, como por exemplo RINEX, RINEX Compacto (HATANAKA) e arquivos Trimble DAT para serviços pós-processados ou serviços de Internet adicionais usando um servidor web.

Qualquer receptor RTK ou DGPS (dependendo do serviço solicitado) que produza a mensagem formato GGA padrão NMEA pode ser usado como um receptor móvel pelo usuário. O receptor RTK/DGPS realiza uma chamada para o GPSNet utilizando um modem celular ou outro serviço de telefonia móvel de duas vias, e transmite a sua posição aproximada. O centro de controle aceita a posição e responde, enviando para o usuário os dados ou correções da estação de referência mais próxima no formato RTCM ou CMR.

No caso do posicionamento em rede, antes que o módulo Gerador de RTCM transmita os dados (VRS) ou correções no padrão especificado (RTCM, CMR), os dados da estação mais próxima (base) são corrigidos para as proximidades do usuário, com base nas informações obtidas da rede. Sendo que para o usuário, a estação de referência (VRS) está localizada na posição transmitida pela mensagem GGA feita no início da conexão.

---

[11] FKP é o acrônimo de *Flächenkorrekturparameter*, (que significa parâmetros de correção de área).

4.2.1 Conexão das estações de referência com o GPSNet

O centro de controle pode utilizar diferentes tipos de dispositivos e protocolos para transferir os dados das estações remotas até o GPSNet. Em alguns casos, o dado poder vir diretamente do receptor ou através do *software* GPSBase. Linhas analógicas ou digitais podem ser usadas. No entanto, este método requer um modem na estação de referência e outro no centro de controle. Se for necessário conectar várias estações, deve-se utilizar um roteador.

Outra solução é a *Wide Area Network* (WAN), tal como uma *Frame Relay*[12]. Embora essas não sejam sempre disponíveis em redes telefônicas, o *Frame Relay* pode ser o melhor método de transferência, especialmente para distâncias mais longas. Nesta configuração cada estação remota tem um endereço IP e o roteador no centro de controle transforma de *Frame Relay* para *Local Area Network* (LAN) e vice versa. Entretanto, nos dias atuais, com o advento de outras tecnologias como do VPN (*Virtual Private Network*) e de outros serviços de acesso dedicado como o *Cable Modem* e o DSL, a tendência de substituição do *Frame Relay* está sendo acelerada.

4.2.2 Conexão do GPSNet com os usuários

Semelhante a solução para as estações de referência, o GPSNet suporta múltiplos caminhos para que um usuário receba dados e/ou correções, tais como:

- Um modem conectado no centro de controle com o GPSNet pelas portas seriais do computador, através do modulo Gerador RTCM utilizando uma interface Windows TAPI (*Telephony Application Programming Interface*);
- Uma unidade de rede *Access Server*, que simula um roteador de rede, mas pode tratar múltiplas conexões de um modem simultaneamente. Além de usar só um número telefônico, o *Access Server* também distribui automaticamente a chamada de entrada para o próximo Gerador RTCM disponível no GPSNet;

---

[12] É uma tecnologia eficiente de comunicação de dados usada para transmitir de maneira rápida e barata a informação digital através de uma rede de dados, dividindo essas informações em frames (quadros) (TANENBAUM, 2003).

- Além da comunicação bidirecional com o receptor do usuário, é possível um módulo Gerador de RTCM enviar continuamente dados de uma estação de referência, por exemplo, a partir de uma antena de rádio conectada por um cabo serial. Este método é típico para o módulo RTCM *Single Station* que trabalha com uma estação de referência;
- O usuário estabelece conexão com o centro de controle utilizando conexão a Internet via GPRS. O centro de controle direciona os dados, via iGate ou Trimble NTRIP *Caster* ao usuário.

4.2.3 Módulos do programa GPSNet

O GPSNet é implementado utilizando o conceito de módulos. Então, cada ferramenta específica funciona em um módulo e diferentes combinações podem ser organizadas dependendo dos seus requisitos. A Figura 08 mostra este conceito de módulos na estrutura de árvore. Desta forma, cada módulo pode ser adicionado ao GPSNet de acordo as necessidades do usuário. No entanto, a menor configuração para o posicionamento em rede é composta com no mínimo quatro módulos: *Receiver*, Synchronizer, DGPSNet e/ou RTKNet e *RTCM VRS Generator*. Esta configuração pode ser estendida quando necessário e não há nem uma limitação funcional com relação ao número de módulos *Receiver* ou RTCM VRS *Generato*r, mas apenas os limites físicos do computador. Cabe ressaltar que, quando o primeiro módulo *Receiver* é adicionado os módulos *Almanac* e *Ephemeris* também são iniciados automaticamente porque são necessários para o funcionamento do módulo *Receiver*.

Uma vez feitas as configurações no GPSNet, deve se salvá-las para que possam ser utilizadas posteriormente, no caso de alguma pane ou falha no sistema. Estas configurações poderão ser carregadas novamente quando o GPSNet for carregado ou tiver de ser desligado por algum motivo.

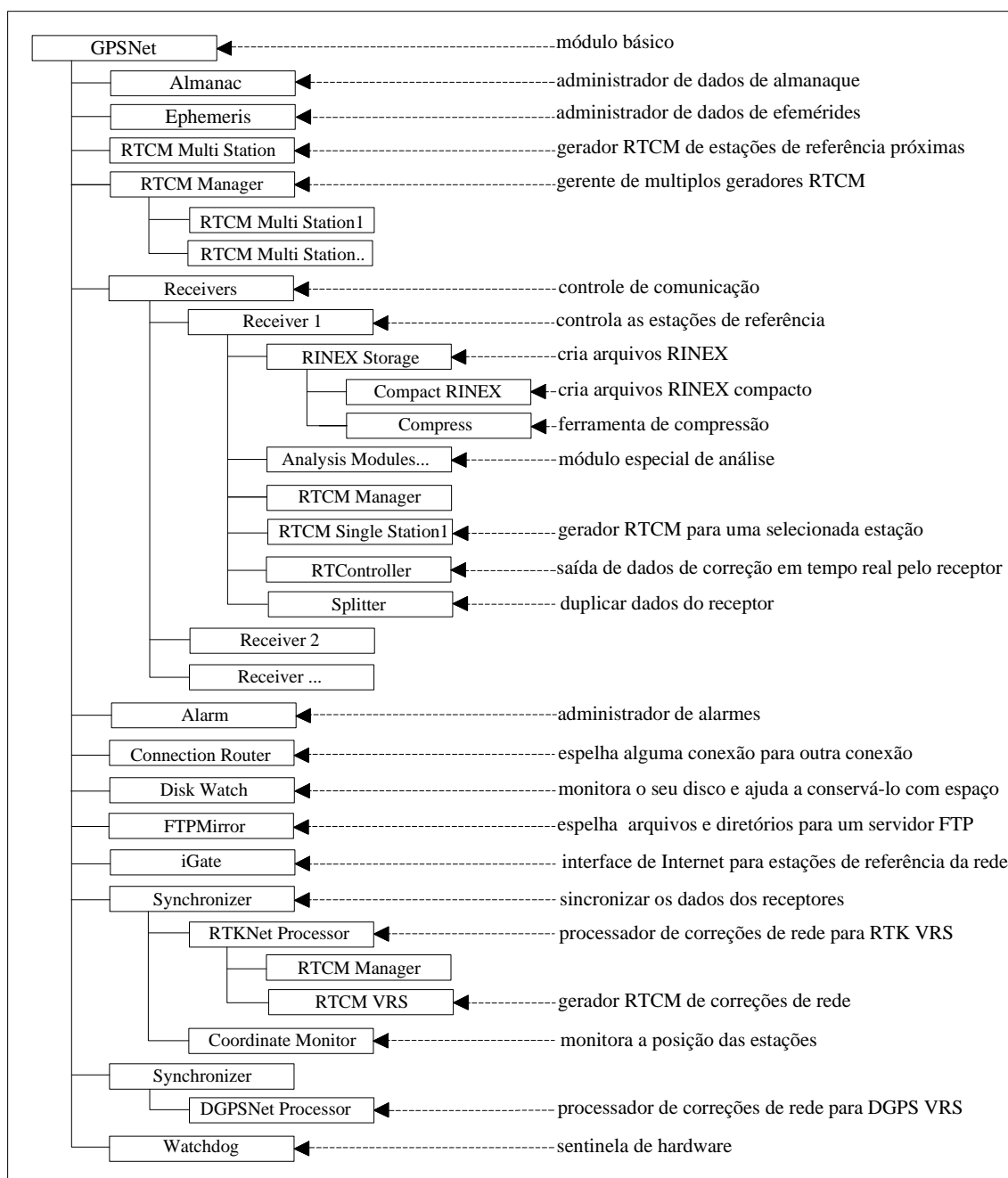



Figura 08 – Árvore com os módulos do GPSNet
Fonte: Traduzido de (TRIMBLE, 2006).

4.2.4 Processamento de dados de uma rede GPS (GNSS)

No GPSNet os módulos de processamento em rede são denominados de RTKNet *Processor* e DGPSNet *Processor*, sendo o primeiro para o RTK e o segundo para o DGPS. Para o funcionamento desses módulos é necessário adicionar inicialmente o módulo *Synchronizer*, responsável por coletar os dados das estações de referência e enviá-los aos módulos de processamento.

O módulo *Synchronizer* também é responsável por determinar os atrasos com relação ao recebimento dos dados de cada estação de referência e o gerenciamento de quais estações podem ser habilitadas a entrar ou não nos módulos de processamento em rede.

As unidades centrais de cálculo no GPSNet são responsáveis pela criação dos modelos de ionosfera e troposfera para toda a rede de estações de referência.

O sistema em rede depende de alta acurácia das coordenadas das estações de referência e definições de correções de antena. Assim, há a necessidade de monitorar cada posição em tempo real e para isto utiliza-se o módulo Monitor de Coordenadas (*Coordinate Monitor)*.

Durante o período de inicialização, os módulos de processamento (RTKNet ou DGPSNet) processam as linhas de base entre as estações de referência. Esse processo toma alguns minutos, dependendo da situação dos satélites e número de estações disponíveis.

Algumas condições são necessárias para que as correções de rede sejam transmitidas. São necessárias observações simultâneas de pelo menos 5 satélites e 3 estações. A necessidade de 3 estações é para satisfazer a condição mínima para a determinação de um plano de correções e 5 satélites é a condição mínima para o posicionamento RTK. Sendo assim, se mais estações estiverem disponíveis, as correções serão calculadas usando até 6 estações.

Os módulos RTKNet e DGPSNet para poder gerar as correções da ionosfera e correções geométricas (troposfera e órbita) utiliza alguns modelos, os quais são apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Descrição dos modelos utilizados no GPSNet pelos módulos de processamento de rede

Correções	Descrição
Modelo Troposférico	O GPSNet calcula as correções de troposfera das estações de referência baseado em um Modelo de Hopfield Modificado.
Modelo Ionosférico	O GPSNet calcula as correções da ionosfera das estações de referência baseado em um modelo de camada única.
Modelo Órbita	O GPSNet calcula as correções das órbitas dos satélites com base em órbitas ultra rápidas.

4.2.5 Produção de dados para clientes em tempo real

O GPSNet oferece vários tipos de módulos Geradores RTCM com o objetivo de gerar mensagens no formato RTCM para enviá-las ao usuário. Assim os Geradores RTCM são as ferramentas necessárias para produzir as mensagens com as observáveis e fornecê-las de acordo com o formato RTCM ou o formato CMR Trimble.

Para o gerenciamento dos geradores RTCM pode-se utilizar o módulo RTCM *Manager* que permite ao administrador do GPSNet gerenciar múltiplos módulos Gerador RTCM. O GPSNet tem disponível vários formatos de dados como mostra o Quadro 11.

Quadro 11 – Formatos de mensagens disponíveis no GPSNet.

Método	Formato	Tipo de Mensagem
DGPS	RTCM 2.3	1- Correções DGPS
		2- Diferenças das correções DGPS
		3- Parâmetro da estação de referência
		9- Conjunto de correções parciais GPS
RTK	RTCM 2.3	18- Dados brutos (fase)
		19- Dados brutos (pseudodistância)
		20- Correções diferenciais (fase)
		21- Correções diferenciais (pseudodistância)
		22 - Parâmetros da estação de referência
		23 - Definição do tipo de antena
		24 - Parâmetros do ponto de referência da antena (ARP – *Antenna Reference Point Parameter*)
		59- Correções FKP[13] (RTCM-59 AdV)
	RTCM 3.0	Correções de rede
	CMR	Formato proprietário da Trimble (dados de fase)
	CMR+	Otimização da mensagem CMR, de forma a ser enviada compactada (dados de fase)
	CMRx	Correções GNSS

Fonte: AFONSO, (2006).

O GPSNet possui três tipos de módulos Gerador RTCM que são adotados dependendo do tipo de posicionamento requerido pelo usuário. Os tipos de módulos geradores RTCM são:

- RTCM Single Station – distribui os dados de uma estação específica a um usuário conectado a ele. Assim, atua como estação de referência

[13] RTCM-59 AdV (*Arbeitsgemeinschaft der deutchen Vermessungsverwaltungen*) é uma implementação especial do conceito FKP, introduzida pelas autoridades alemãs (WÜBBENA et al., 2005) *apud* (AFONSO, 2006)

RTK/DGPS típica. Ele é adicionado abaixo do módulo *RAW Data Analysis*;

- RTCM Multi Station – o módulo seleciona a estação de referência mais próxima de acordo com a posição informada pelo usuário, utilizando a sua solução de navegação (SPP) enviada na forma de registro GGA padrão NMEA, para distribuir os dados de uma estação a um usuário. Assim, atua como estação de referência RTK/DGPS típica;
- RTCM VRS *Generator* – utilizado para gerar a VRS, ele é capaz de aplicar correções de rede aos dados da estação base. É iniciado diretamente abaixo do RTKNet ou DGPSNet. Necessita da posição enviada pelo usuário para encontrar a estação de referência mais próxima ao usuário e a partir dos dados desta gerar a VRS para a posição aproximada do usuário.

5 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA ADOTADA NESTA PESQUISA

5.1 Introdução

A metodologia adotada neste trabalho será descrita neste capitulo. Desta forma, serão apresentadas as estações de referência utilizadas e suas localizações no contexto da rede GNSS_SP. Também serão descritas as estações utilizadas nos experimentos. Na seção 5.2 são apresentados os detalhes de funcionamento da metodologia utilizada para o posicionamento em rede utilizando conexão GPRS e o software adotado. Os procedimentos a serem realizados para configurar o software e disponibilizar dados aos usuários são descritos na Seção 5.3. Nas seções 5.4 e 5.5 são descritos as estratégias utilizadas durante as coletas e os locais escolhidos.

5.2 Rede GNSS utilizada e *software*

Para alcançar os objetivos expostos na Seção 1.2, utilizou-se dados das estações de referência da rede GNSS-SP implantada no estado de São Paulo. Porém, deve-se salientar que a estação PRMA, pertence à RBMC, foi adicionada a rede GNSS-SP para dar uma melhor configuração a geometria das estações. A Figura 09 ilustra a distribuição das estações.

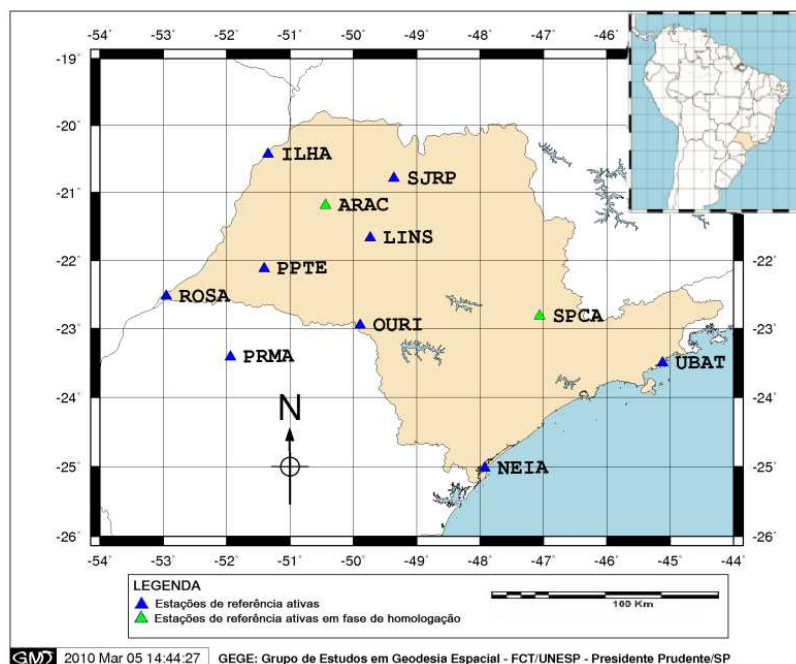



Figura 09 – Rede GNSS do oeste do estado de São Paulo.

Cabe salientar que três das estações pertencentes à rede GNSS-SP (apresentadas na Figura 09) não foram incluídas no processamento em rede. Isso ocorreu devido ao comprimento das linhas de base em relação às estações mais próximas, proporcionando uma configuração não adequada ao processamento de dados de rede, necessário para gerar os dados da VRS utilizada no posicionamento. Tratam-se das estações NEIA, SPCA e UBAT (desabilitadas no GPSNet).

A rede GNSS_SP é composta de diferentes receptores, sendo eles: 2 Leica GRX1200 e 9 Trimble utilizando os modelos NetR8 (6), NetRS (3) e NetR5 (1), conforme apresenta o Quadro 12.

Quadro 12 – Lista de receptores que compõem as estações de referência da rede GNSS-SP

Estação	Receptor	
	Modelo	Fabricante
PPTE	NetR8	Trimble
ILHA	GRX1200	Leica
ROSA	NetR5	Trimble
SJRP	NetRS	Trimble
OURI	NetRS	Trimble
ARAC	NetR8	Trimble
LINS	GRX1200	Leica
NEIA	NetR8	Trimble
SPCA	NetR8	Trimble
UBAT	NetR8	Trimble
PRMA	NetRS	Trimble

Para disponibilizar o RTK em rede deve-se utilizar um servidor (computador) central onde são reunidos os dados de observações das estações de referência e são calculadas as correções da rede e/ou os dados da VRS para a região de abrangência da mesma. Para isso, o servidor central montado no Laboratório de Geodésia Espacial (LGE) acessa os dados das estações em tempo real via Internet utilizando um *software* de processamento específico de rede (por exemplo, GPSNet, Spyder ou GNSMART). No que concerne ao RTK em rede, o módulo de processamento em rede foi disponibilizado temporariamente no LGE pela empresa Trimble. Trata-se do software comercial GPSNet versão 2.73.

No GPSNet o módulo de processamento em rede denominado de *RTKNet Processor* é responsável por criar os modelos de ionosfera e troposfera para toda a rede. Usando esses parâmetros, o GPSNet faz o deslocamento geométrico dos dados da base para a posição dada pelo usuário e gera a VRS para esta posição.

No RTK em rede utilizando VRS, o usuário envia sua posição ao centro de controle para que ele possa gerar os dados da VRS e, assim, o usuário realizar o posicionamento. Para isto há a necessidade de utilizar um dispositivo que possibilite ao usuário o acesso a internet no campo, viabilizando a transferência de informações entre o usuário e o centro de controle. Tal dispositivo pode ser um modem celular, GSM/GPRS, por exemplo, que garante mobilidade ao usuário na região de abrangência da rede.

A comunicação deve ser realizada estabelecendo um *link* bidirecional, o qual possibilita a troca de informações entre o usuário e o servidor, com o envio e a recepção de dados (Figura 10). Neste caso, o usuário e o servidor permanecerão em comunicação por meio do TCP/IP, utilizando uma porta específica definida previamente para a transmissão dos dados.

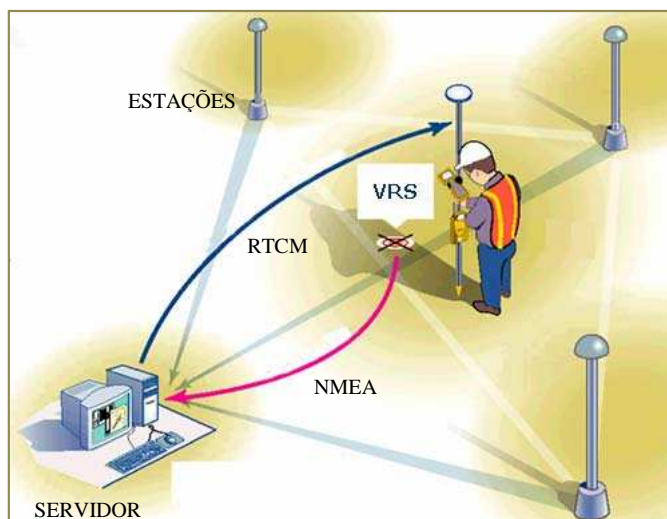



Figura 10 – Estrutura do conceito de estação de referência virtual.

Fonte: http://www.gps2.euskadi.net/.

O *software* de gerenciamento dos levantamentos do usuário fica instalado no dispositivo (ou controladora do receptor), no qual o acesso a internet ocorre via modem celular através de uma interface de comunicação sem fio (ex: Bluetooth), que também faz a comunicação com o receptor.

5.3 Configurações utilizadas no GPSNet

O GPSNet é o *software* utilizado nessa pesquisa para acessar as estações de referência ativas da rede GNSS-SP, fazer o processamento e disponibilizar os dados aos usuários.

Esse *software* é baseado em interface gráfica, o que facilita a configuração e a análise das informações processadas. Um exemplo de interface disponível para visualizar as informações é a tela que mostra a lista de estações e os satélites rastreados, processados e com solução (ionosfera e troposfera) disponibilizada no posicionamento em rede (Figura 11).

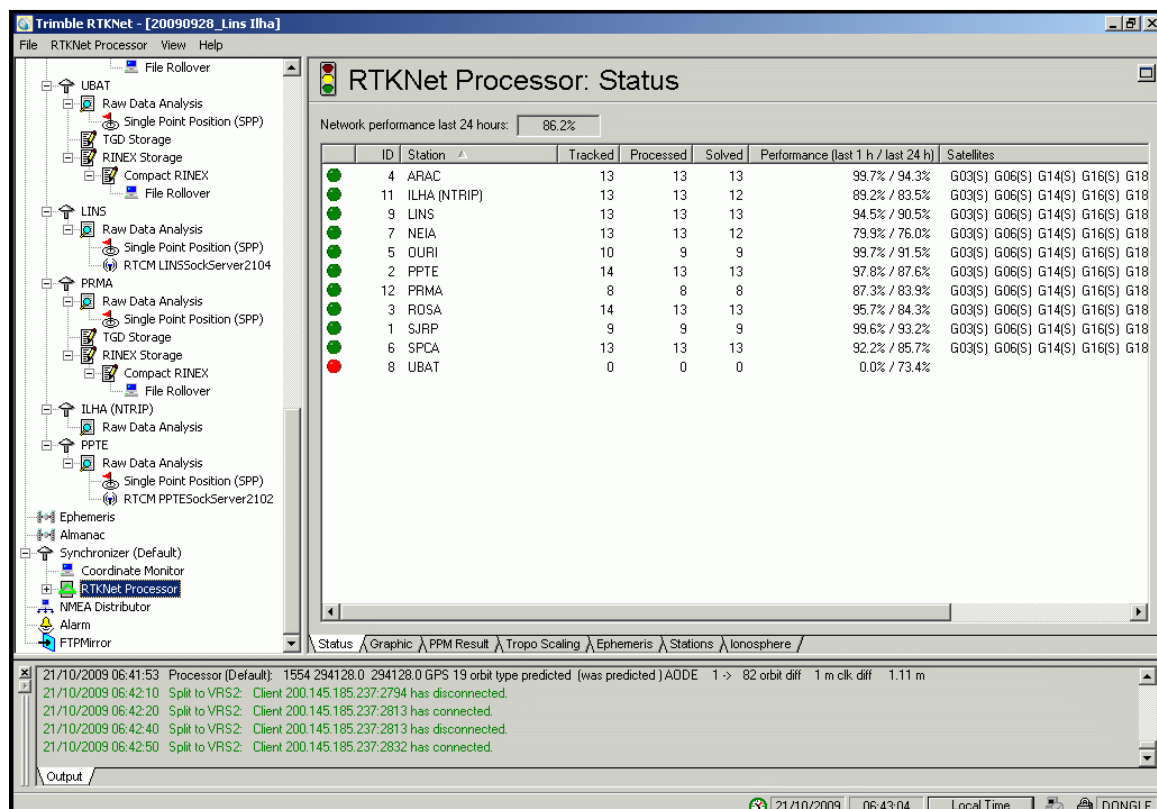



Figura 11 – Exemplo de tela do *software* GPSNet.

Para dar início as atividades de coleta dessa pesquisa foram configurados diversos módulos do *software* GPSNet. Foi necessário adicionar e configurar todos os receptores. Há a necessidade de monitorar as coordenadas das estações para verificar se as coordenadas se estabilizam. Dessa forma, foi realizado o monitoramento durante 8 dias, o que possibilitou identificar desvios nas coordenadas das duas estações que ainda eram preliminares (ARAC, SPCA). As coordenadas obtidas no processamento a partir do módulo de monitoramento das coordenadas, durante 8 dias, foram utilizados como coordenada de referência para a estação ARAC (Figura 12). O mesmo procedimento também foi realizado para a estação SPCA.

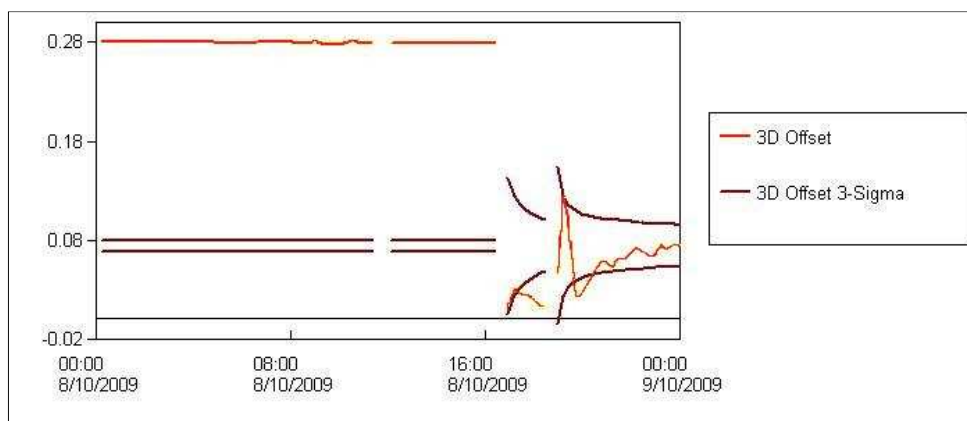



Figura 12 – Gráfico mostrando os erros na estação ARAC e o instante quando foram assumidas as coordenadas determinadas pelo GPSNet.

Também foram carregados no GPSNet os módulos para a geração e disponibilização em tempo real dos dados de cada estação da rede (*RTCM Single Station)* e dos dados da rede por meio de uma VRS (*RTCM VRS Generator)*. Para cada um dos módulos adicionados em cada estação foi selecionado uma porta específica para disponibilizar os dados.

Para o usuário receber os dados da estação base é necessário conectar-se ao servidor utilizando seu IP e a porta específica a qual foi destinada aos dados da estação. Dessa forma, foram abertas várias portas no servidor, uma para cada estação de referência. No caso dos dados da VRS utilizou-se a porta 2101, muito empregada para dados GNSS.

A configuração adotada no gerador RTCM para disponibilizar os dados da VRS foram as seguintes:

- ✓ Estilo de medição RTK; tipos de dados VRS; padrão de mensagem RTCM 3.1 (Figura 13 (a));
- ✓ Utilizou-se a mensagem 1004 para observáveis, 1005 para descrição da estação, 1033 e 1007 para a descrição da antena (Figura 13 (b));

Quando se configura um módulo gerador RTCM para disponibilizar dados de uma VRS, algumas configurações são específicas somente a este tipo de dados, como:

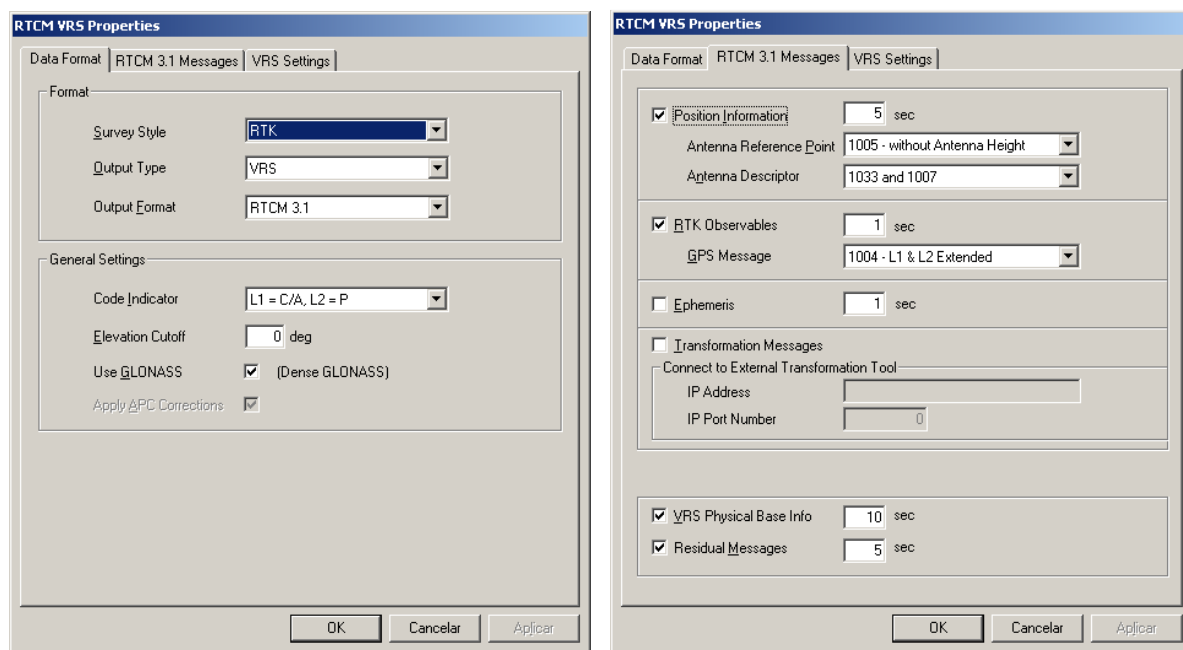
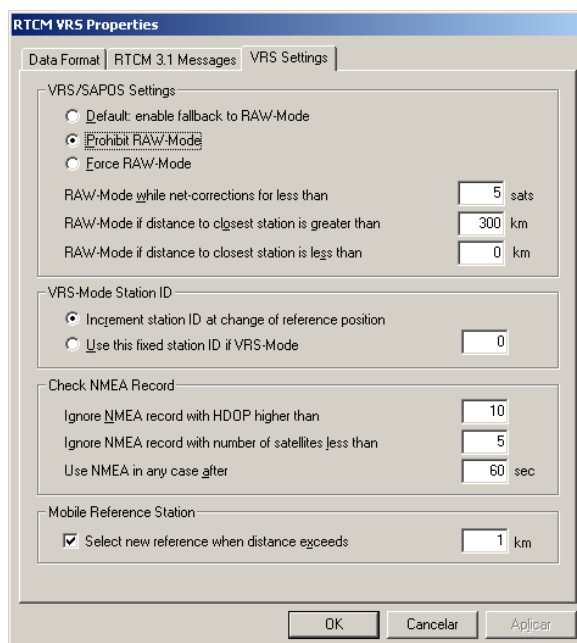
- ✓ Não permitir que sejam enviados dados brutos da estação base quando não estiverem disponíveis as correções de rede; selecionar o número mínimo de satélites necessários; estabelecer as distâncias máxima e mínima para o envio de dados brutos. Tais configurações podem ser realizadas conforme a Figura 13 (c).

(a) Formato de dados (b) Mensagens

(c) Configurações da VRS

Figura 13 – Configuração do módulo gerador de VRS no *software* GPSNet.

5.4 Estratégias adotadas durante as coletas de dados

Para realizar os experimentos em campo, um receptor Trimble R8 GNSS disponível no Latogeo (Laboratório de Topografia, Geodésia e Astronomia) da FCT/Unesp foi utilizado. Este receptor possui uma controladora portátil com sistema operacional *Windows Mobile* e o *software Survey Controler (v. 12.45)* específico do fabricante para realizar o posicionamento em campo. A controladora pode se comunicar com o receptor

(Trimble R8 GNSS) através de cabos ou por interface sem fio (*Bluetooth*) e ainda possui capacidade de comunicação externa utilizando GPRS por telefone celular, o que viabiliza a comunicação via internet em campo.

Em relação aos experimentos, estes foram realizados utilizando diferentes configurações do sistema. Para isto, quatro estratégias de coleta foram adotadas e suas particularidades são apresentadas no Quadro 13.

Quadro 13 – Descrição das estratégias de coleta

Estratégias	Descrição
VRS	Foi utilizada como referência uma VRS gerada pelo sistema próxima ao usuário. No posicionamento foram empregadas as observáveis dos sistemas GPS e GLONASS (GNSS) e a observável L2C.
VRS_S	Foi utilizada como referência uma VRS gerada pelo sistema próxima ao usuário, empregando apenas as observáveis GPS sem a observável L2C.
RTK	Foi utilizada como referência uma estação da rede, neste caso, a mais próxima, que é a mesma utilizada como base pelo RTKNet para gerar a VRS. No posicionamento foram empregadas as observáveis GNSS incluindo o código L2C.
RTK_S	Foi utilizada como referência uma estação da rede, neste caso, a mais próxima. No posicionamento foram empregadas as observáveis GPS sem o código L2C.

Em todas as coletas foram adotadas as quatro estratégias descritas no Quadro 13, para que fosse possível comparar os métodos de posicionamento RTK e RTK em rede, além de verificar se a utilização do sistema GLONASS e do código civil L2C proporcionariam melhorias no posicionamento.

As estratégias adotadas para as coletas seguiram alguns critérios, tais como:

- ✓ Realizou-se uma estratégia após a outra, pois não foi possível executar as quatro estratégias ao mesmo tempo;
- ✓ Cada estratégia foi dividida em duas etapas, sendo que para cada etapa fez-se uma inicialização e calculou-se qual o tempo era necessário aguardar para obter a solução das ambiguidades. Em cada inicialização foram coletados 3 pontos estáticos com tempo de ocupação de 30 segundos e 100 pontos AutoTopo com tempo de ocupação de 1 segundo cada. Então, em cada estratégia coletou-se 206 pontos no total;

- ✓ Foram feitas coletas durante dois[14] períodos do dia, um iniciando pela manhã entre as 7 e 8 horas e outro a tarde iniciando entre as 13 e 14 horas. Além disso, foram repetidas as coletas duram dois dias consecutivos para cada localidade. Essa estratégia foi adotada com o objetivo de buscar maior representatividade e ainda evitar a coincidência com alguma falha do sistema em uma única estratégia de coleta;
- ✓ Outro critério adotado para não privilegiar nem uma das estratégias foi coletar os dados utilizando uma sequência diferente durante os períodos e os dias coletados;
- ✓ Todos os experimentos foram realizados utilizando conexão GPRS e o padrão RTCM 3.1 para transmissão dos dados da base, tanto para o posicionamento RTK (RTK e RTK_S) como RTK em rede (VRS e VRS_S).

5.5 Locais das coletas de dados

As coletas de dados foram realizadas em pontos distintos dentro da área de abrangência da rede (Figura 14). Esses pontos têm suas coordenadas conhecidas no Sirgas 2000, o que possibilitará compará-las com as coordenadas obtidas nos experimentos e, assim, analisar a acurácia do (sistema) posicionamento.

Foram selecionadas como pontos de coleta de dados as seguintes estações pertencentes ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB): ADAM (Adamantina), TUPA (Tupã), PANO (Panorama) e ASSI (Assis). Essas estações geodésicas foram selecionadas baseadas em critérios como: localização dentro da área de cobertura da rede GNSS-SP, distribuição homogenia dentro da rede, localizadas a diferentes distâncias da estação base e dispor de boas condições de coleta (acesso e ausência de obstruções). Importante frisar que essas estações possuem um dispositivo que possibilita centrar o receptor de forma forçada, evitando erros grosseiros na instalação do equipamento.

---

[14] Também foram feitas tentativas de coleta no período noturno na estação TUPA entre 21horas e 23 horas. No entanto sem sucesso, pois, não foi obtida solução para as ambiguidades. Dessa forma, não serão apresentados resultados para o período noturno.

Além dessas estações ainda foi selecionada a estação ASSE[15], localizada no assentamento São Jorge, distante 42 km de Presidente Prudente, e a estação BATA, localizada em Bataguassu-MS. A estação ASSE foi selecionada devido à necessidade de ter uma estação mais próxima da estação base, com distância aproximada de 34 quilômetros. Já a estação de Bataguassu foi selecionada por estar fora da área de cobertura da rede e por fazer parte do SGB. Para uma melhor visualização dessas informações, a Figura 14 mostra as estações da rede com as distâncias entre elas e as estações utilizadas nos experimentos.

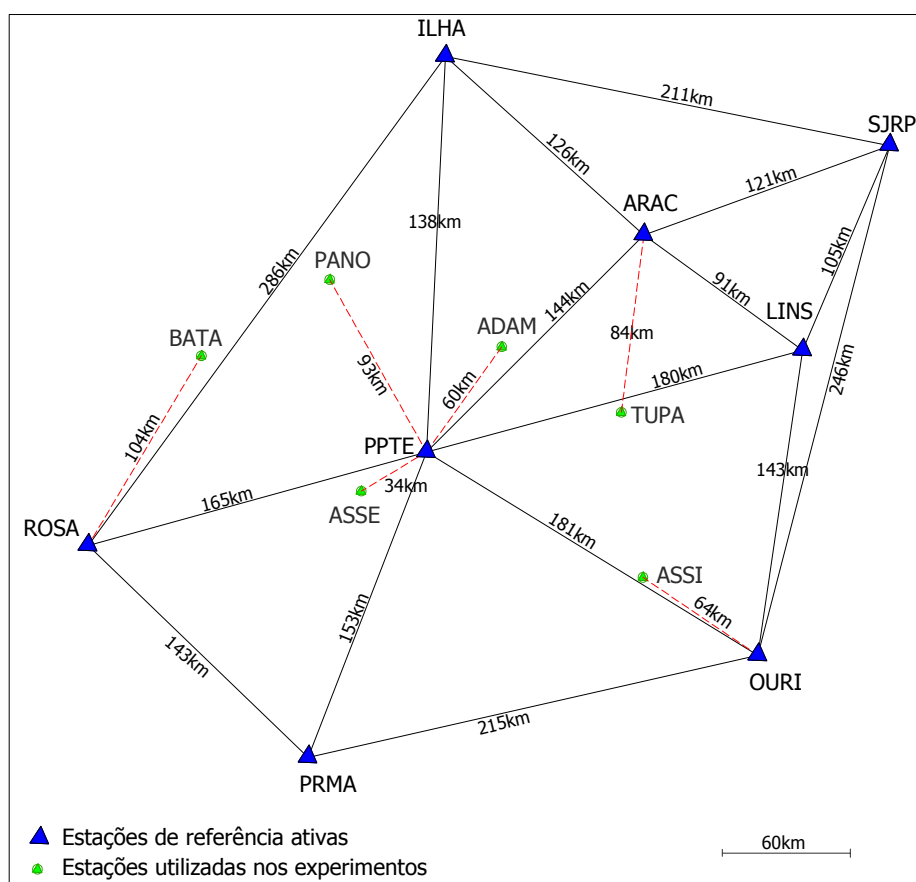



Figura 14 – Estações utilizadas nos experimentos

Após realizar a definição das localidades de coletas de dados e a configuração do *software* GPSNet, os procedimentos de coleta foram iniciados. Dessa forma, foram visitadas todas estas seis localidades nos dias apresentados no Quadro 14.

[15] A estação ASSE não faz parte do SGB. Suas coordenadas consideradas verdadeiras foram determinadas com base no posicionamento relativo utilizando um receptor de dupla frequência. O período de dados processados foi superior a duas horas. Para o ajustamento dessa estação na rede utilizou-se três estações base pertencentes a rede GNSS-SP.

Quadro 14 – Dias das coletas, estações base e as distâncias

Estação Coletada	Data	Estação Base	Distância
ASSE	19 e 20/02/2010	PPTE	34,84 km
ADAM	20 e 21/11/2009	PPTE	60,77 km
ASSI	13 e 14/01/2010	OURI	64,97 km
TUPA	18 e 19/11/2009	ARAC	84,13 km
PANO	02 e 03/12/2009	PPTE	93,39 km
BATA	11 e 12/01/2010	ROSA	104,54 km

Cabe salientar que as coletas foram todas realizadas estáticas apesar do interesse em cinemático, mas devido as dificuldades em realizar as coletas cinemáticas que pudessem avaliar a acurácia e a integridade, inviabilizarão está analise.

5.6 Comentários finais

Considerando a Figura 14, pode-se notar que as distâncias entre as estações da rede variam de 91 km a 286 km. Dessa forma, essa rede foge ao especificado pela Trimble para o uso do módulo RTKNet que faz o processamento em rede, pois segundo a nota técnica que fala sobre os levantamentos com acurácia RTK recomenda que as estações de referência devem estar distantes umas das outras entre 50 a 70km (TRIMBLE, 2010). Mas por se tratar da rede GNSS mais densa no Brasil, tal análise justifica a pesquisa, visando verificar que nível de qualidade pode ser alcançado.

6 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesse capitulo são apresentados os resultados sobre os indicadores de qualidade no posicionamento GNSS cuja teoria encontra-se no Capitulo 2. Para obter os valores dos indicadores de qualidade na rede GNSS-SP foram realizados alguns experimentos. O intervalo de tempo que o receptor móvel GNSS leva para inicializar é apresentado na Seção 6.1. Na Seção 6.2 são apresentados os resultados obtidos para a acurácia no posicionamento RTK e RTK em rede. Já nas Seções 6.3 e 6.4 são descritos os valores respectivamente de disponibilidade e da integridade obtidos nos experimentos.

6.1 Considerações sobre a inicialização

No posicionamento em tempo real um fator importante é que as ambiguidades sejam solucionadas o mais rápido possível com valores inteiros (*fixed*). Os sistemas RTK utilizam técnicas *On-The-Fly* (OTF), o que possibilita a estimação rápida dos números inteiros de ciclos.

Nas aplicações RTK é importante esperar que o sistema obtenha a solução das ambiguidades antes de iniciar o posicionamento, ou durante o mesmo. Dessa forma, para avaliar e comparar os intervalos de tempo demandados na solução das ambigüidades (tempo de inicialização), este foi cronometrado durante as coletas para cada estratégia utilizada (VRS, VRS_S, RTK e RTK_S).

Para cada estratégia foram feitas duas inicializações, durante cada período do dia (manhã e tarde) e repetidas ao longo de dois dias consecutivos o que totalizou 8 inicializações para cada estratégia. Na Tabela 01 são apresentados os tempos de inicialização máximos e mínimos obtidos para cada estratégia nas diferentes localidades. Os demais intervalos de tempo gastos para obter a inicialização das ambiguidades são apresentados no Apêndice A.

Tabela 01 – Os intervalos mínimos e máximos gastos nas inicializações

Estação	Data	Estratégia	Tempo de inicialização	
			Mínimo	**Maximo**
ASSE	19 e 20/02/10	VRS	1s	3min 4s
		VRS_S	2s	2min 4s
		RTK	2s	4min 48s
		RTK_S	2s	3min 13s
ADAM	20 e 21/11/09	VRS	5s	12min 11s
		VRS_S	6s	5min 4s
		RTK	8s	4min 12s
		RTK_S	3s	14min 26s
ASSI	13 e 14/01/10	VRS	8s	19min 15s
		VRS_S	14s	NF**
		RTK	19s	6min 40s
		RTK_S	10s	9min 40s
TUPA	18 e 19/11/09	VRS	3s	7min 7s
		VRS_S	32s	NF*
		RTK	6s	7min 0s
		RTK_S	10s	9min 30s
PANO	02 e 03/12/09	VRS	3s	NF*
		VRS_S	6s	NF*
		RTK	3s	9min 10s
		RTK_S	14s	9min 59s
BATA	02 e 03/12/09	VRS	37s	10min 21s
		VRS_S	17s	25min 8s
		RTK	6s	NF**
		RTK_S	1min 1s	12min 50s

* Não fixou as ambiguidades após 30 minutos de espera.
** Não fixou as ambiguidades após 25 minutos de espera.

Os intervalos de tempos de inicialização variaram bastante, mas algumas considerações podem ser tiradas dos resultados apresentados na Tabela 01. Pode-se verificar que houve um aumento significativo nos mesmos quando as distâncias entre as estações base e as estações de coleta se tornaram maiores. Verifica-se que os intervalos de tempos de inicialização obtidos na estação ASSE são menores que os obtidos na estação ADAM, mais distante, e isto poder ser observado de forma geral para todas as estações nas diferentes estratégias.

Era esperado que nas estratégias (VRS e VRS_S) fossem obtidos resultados mais eficientes por estarem fazendo a utilização das correções advindas da rede, mas não ocorreram melhorias significativas nos tempos de inicialização. Na verdade pode-se verificar, em vários casos, tempos maiores de inicialização que nas estratégias que utilizavam uma única estação base a muitos quilômetros de distância (RTK e RTK_S). Além do mais, utilizando VRS era necessário aguardar o tempo até a inicialização, de forma similar as outras

estratégias. Mas muitas vezes, imediatamente após sua obtenção ela era perdida, o que exigia uma nova inicialização.

Esses resultados dão indícios de que as estratégias baseadas em uma única estação base (RTK e RTK_S) comportaram-se com maior robustez na obtenção e manutenção da inicialização, o que em princípio parece estar inconsistente. Porém, o desenvolvedor do *software* GPSNet especifica que as distâncias entre as estações de referência da rede sejam entre 50 e 70 km, fator não atendido na rede GNSS-SP, devendo então gerar correções não adequadas.

6.2 Acurácia

Antes de apresentar os resultados obtidos para a acurácia na forma de erro médio quadrático (EMQ), são descritos as características da estação onde os dados foram coletados, a disposição das estações de referência na rede e o índice I95 (Seção 2.5.5) obtido na rede GNSS-SP no período dos experimentos.

Para analisar a qualidade do posicionamento dentro da área de abrangência da rede utilizou-se um receptor R8 GNSS Trimble, com as seguintes especificações de acurácia para o RTK: 10mm + 1ppm na horizontal (H.) e 20mm +1ppm na vertical (V.) (TRIMBLE, 2004**)**. Ao conduzir os experimentos utilizou-se o intervalo de 1s e máscara de elevação de 10°, tanto para posicionamento RTK como RTK em rede. Na Tabela 02 são apresentados os valores esperados para acurácia, calculados com base nas especificações do receptor R8 GNSS.

Tabela 02 – Valores de acurácia para o posicionamento RTK com base nas especificações do equipamento

Estação Coletada	Distância	Acurácia H.(m)	Acurácia V. (m)
ASSE	34,84 km	0.0448	0.0548
ADAM	60,77 km	0.0707	0.0807
ASSI	64,97 km	0.0749	0.0849
TUPA	84,13 km	0.0941	0.1041
PANO	93,39 km	0.1034	0.1134
BATA	104,54 km	0.1145	0.1245

Algo importante que pode ser analisado quando se realiza o posicionamento em tempo real é a relação da qualidade do posicionamento com os valores do I95. Dessa

forma, quando os valores do I95 tornam-se muito grandes, observa-se uma maior dificuldade na solução das ambiguidades e a qualidade do posicionamento é deteriorada.

6.2.1 Estação ASSE

No assentamento São Jorge (próximo a rodovia SP-272 entre Pirapozinho e Mirante do Paranapanema) encontra-se a estação ASSE. Tal estação, comparada com as outras estações utilizadas nos experimentos, é a mais próxima da estação base. A estação se localiza a aproximadamente 34.84 km da estação PPTE, como pode ser observado na Figura 15, fato que a coloca na condição mais favorável para o posicionamento RTK, isto baseado no critério da distância à estação base. O que teoricamente não seria problema para o posicionamento RTK em rede, uma vez que sempre se adotou o conceito de VRS para utilizar as correções da rede. Dessa forma, a estação virtual encontrava-se a poucos metros da estação de coleta, independente da distância da estação base.

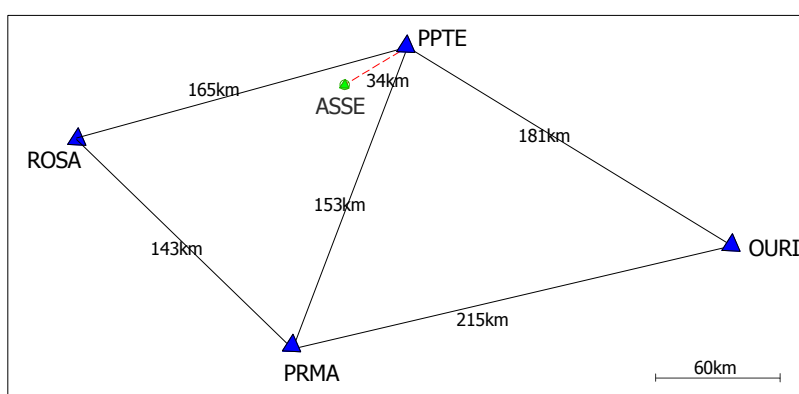



Figura 15 – Estações próximas a estação ASSE

Como pode ser observado na Figura 15, os comprimentos das linhas de base das estações de referência próximas a estação ASSE variam entre aproximadamente 145 e 215 km. Tais comprimentos podem ser considerados longos e fora das especificações do *software* GPSNet, fato que pode influenciar o posicionamento RTK em rede (estratégias VRS e VRS_S).

Para os experimentos conduzidos na estação ASSE, o receptor foi instalado sobre um marco de concreto cravado próximo a um canto de cerca. As coletas ocorreram nos dias 19 e 20/02/2010, com o posicionamento RTK (RTK e RTK_S) e RTK em rede (VRS e VRS_S).

A disposição do receptor R8 durante as coletas na estação ASSE é apresentada pela Figura 16. Essa estação possui um marco de concreto de 0,3m de altura.

Figura 16 – Local do experimento dentro da área do Assentamento São Jorge

6.2.1.1 I95

O índice I95, que pode auxiliar o usuário a detectar e analisar o efeito da ionosfera sobre o posicionamento RTK e RTK em rede, foi apresentado na Seção 2.5.5. Nesta seção tal índice é utilizado para analisar os experimentos realizados no contexto da rede GNSS-SP. Assim, os valores do I95 obtidos para cada hora do dia de coleta são apresentados nas Figuras 17 e 18.

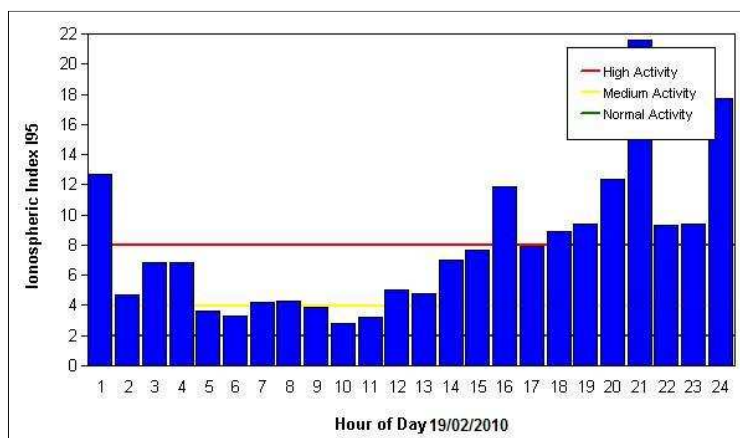



Figura 17 – Valores do índice I95 na rede GNSS-SP para o dia 19/02/2010.

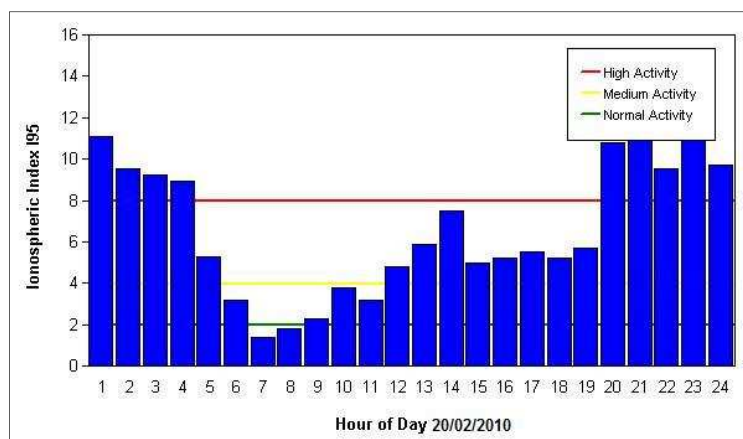



Figura 18 – Valores do índice I95 na rede GNSS-SP para o dia 20/02/2010.

Na Figura 17, verificou-se que os valores do índice I95 ao longo do dia tiveram grandes variações. Por exemplo, as 10 horas foi obtido o valor mínimo de 3 (em ppm da L1) e as 21h o valor máximo de 21. Assim, ao analisar a Figura 17 verifica-se que as melhores condições para o posicionamento ocorrem durante o período da manhã, entre 5 e 12 horas (horário local), pois neste período os valores obtidos para o I95 são menores.

Já no dia 20 os valores do I95 também apresentaram grandes variações ao longo do dia, conforme Figura 18. Mas, novamente, o período que apresentou a melhor condição foi o período da manhã, no qual o melhor horário foi às 7 horas, pois o valor do I95 foi inferior a 2.

Outro ponto que deve ser destacado é que durante as coletas foi possível observar que quando os valores do I95 ultrapassavam 6 a inicialização era bastante afetada. Mais detalhes serão apresentados nas próximas seções.

6.2.1.2 Indicadores da acurácia

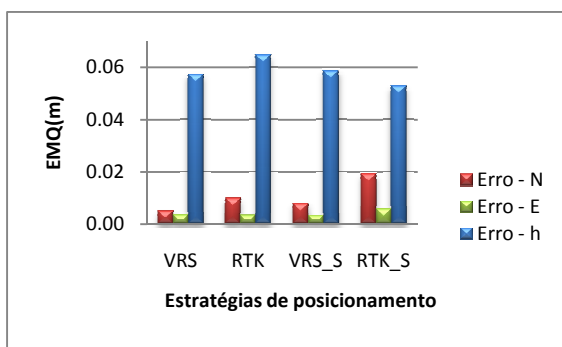
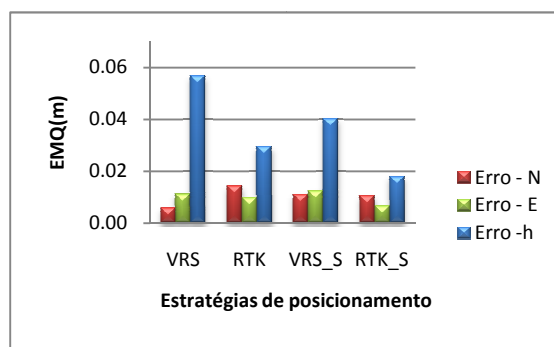
As coordenadas estimadas com o RTK e o RTK em rede foram comparadas com as coordenadas determinadas no processamento e ajuste prévio realizado para a estação ASSE, a partir de onde foram feitas algumas análises estatísticas. As Figuras 19 e 20 apresentam o EMQ para cada componente (N, E e h) obtido nas diferentes estratégias. Nessa coleta a estação base utilizada tanto para o RTK, como para gerar a VRS utilizada no RTK em rede é a estação PPTE.

(a) Período da manhã entre 9h28min e 10h12min

(b) Período da tarde entre 14h05min e 14h52min

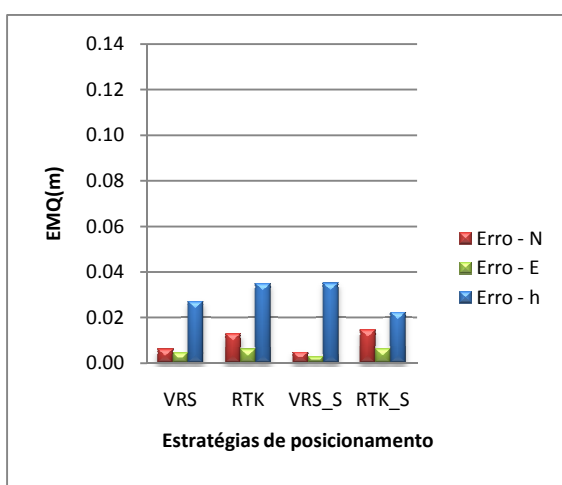
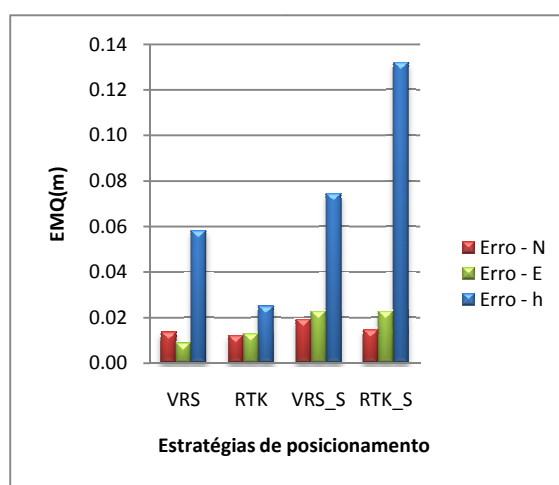
Figura 19 – EMQ obtido na estação ASSE no dia 19/02/2010 no período da manhã e da tarde

(a) Período da manhã entre 8h07min e 8h53min

(b) Período da tarde entre 13h04min e 14h21min

Figura 20 – EMQ obtido na estação ASSE no dia 20/02/2010 no período da manhã e da tarde

Analisando a Figura 19 e a Figura 20 não é possível afirmar qual a melhor estratégia para o posicionamento, pois utilizando RTK ou RTK em rede os resultados foram bastante semelhantes. No entanto, foi possível verificar nos resultados do dia 20 pela manhã, período onde o I95 estava abaixo de 2, melhorias em relação ao dia 19, que tinha o I95 igual a 4. Na Tabela 03 são apresentadas as porcentagens de melhoria obtidas ao se comparar os valores altimétricos onde as melhorias foram mais significativas nos dois dias.

Tabela 03 – EMQ da componente altimétrica no período da manhã dos dias 19 e 20/02 e a porcentagem de melhoria encontrada

Comp. Altimétrica	Dias	VRS	VRS_S	RTK	RTK_S
EMQ (m)	19/02/2010	0,057	0,065	0,059	0,053
EMQ (m)	20/02/2010	0,027	0,035	0,035	0,022
Melhoria (%)	-	52%	46%	40%	58%

Na Figura 20 (b) é possível observar que na estratégia RTK_S o valor obtido na componente altimétrica não foi satisfatório se comparado aos valores especificados pelo fabricante (Tabela 02), pois a acurácia ficou próxima de 14 cm.

6.2.2 Estação ADAM

No campus da Faculdade Adamantinense Integrada (FAI), cidade de Adamantina, encontra-se a estação ADAM. Tal estação dista aproximadamente 60.77 km da estação base PPTE, como pode ser observado na Figura 21. Portanto, ADAM possui a segunda melhor condição para o posicionamento RTK, isto baseado no critério da distância à estação base.

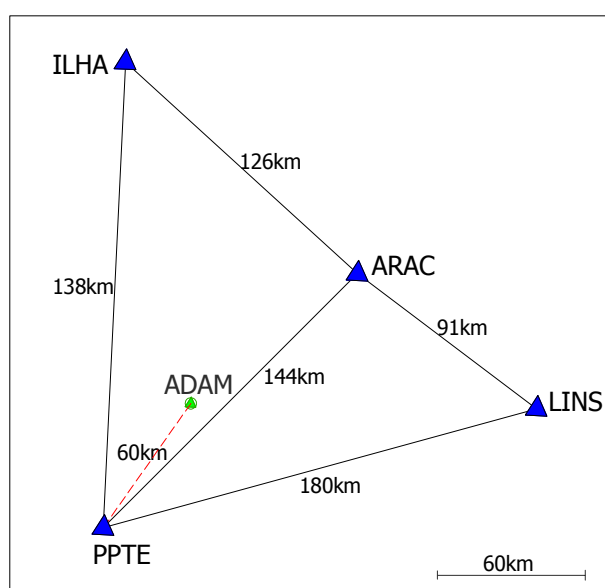



Figura 21 – Configuração das estações próximas a ADAM

O experimento na estação ADAM foi realizado seguindo a mesma metodologia utilizada na estação ASSE. Os dados do posicionamento RTK e RTK em rede ocorreram nos dias 20 e 21/11/2009.

A disposição do equipamento durante os experimentos na estação ADAM é apresentada pela Figura 22. Essa estação possui um pilar de concreto de 1,2 m de altura e 0,30 m de diâmetro. Possui no topo um dispositivo que possibilita centrar de forma forçada o receptor.

Figura 22 – Local do experimento em Adamantina

6.2.2.1 I95

Os valores obtidos para o I95 no contexto da rede GNSS-SP são utilizados para analisar os experimentos realizados na estação ADAM. As Figuras 23 e 24 apresentam os valores do I95 obtidos para cada hora do dia.

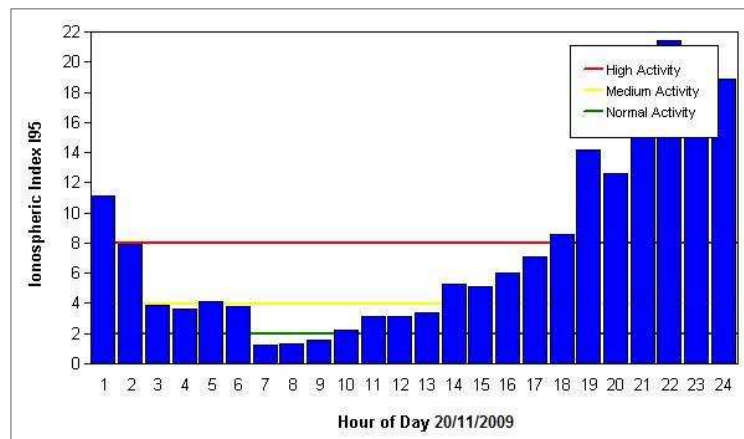



Figura 23 – I95 para rede GNSS-SP no dia 20/11/2009

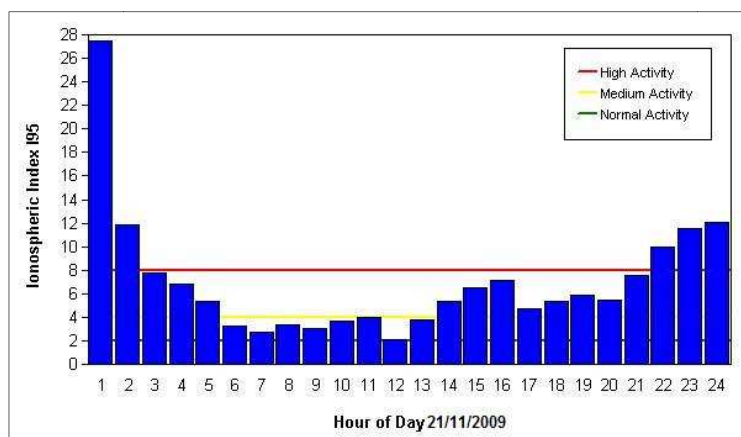
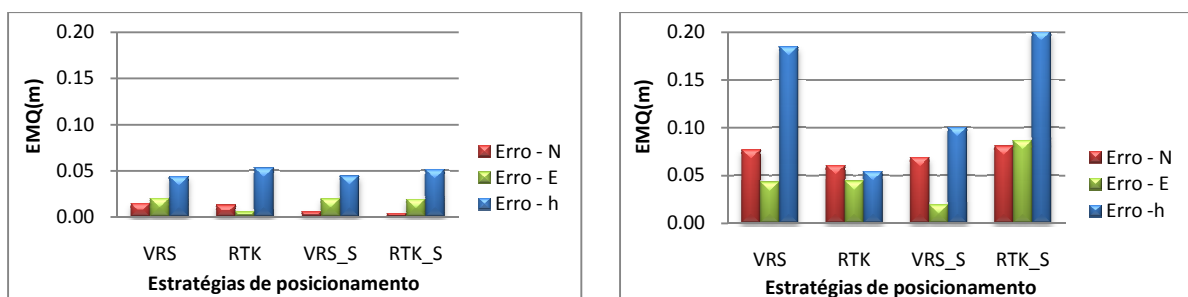



Figura 24 – I95 para rede GNSS-SP no dia 21/11/2009

Analisando os valores do I95 apresentados nas Figuras 23 e 24 é possível observar que novamente no período da manhã são apresentados os menores valores. Para o dia 20 (Figura 23), isto é mais evidente no intervalo entre 7 e 13 horas. Também é possível observar nesse dia que após as 19 horas os valores se tornam muito grandes, acima de 12, o que provavelmente neste horário inviabilizaria o posicionamento em tempo real, pois em algumas tentativas de posicionamento realizadas quando os valores do I95 eram superiores a 10, não foi possível obter solução fixa.

6.2.2.2 Indicadores da acurácia

A partir das coordenadas estimadas a partir do RTK e RTK em rede foram feitas algumas análises estatísticas. As Figuras 25 e 26 apresentam o EMQ para as componentes (N, E e h) obtidos nas diferentes estratégias. Nessa coleta a estação base utilizada tanto para o RTK como para gerar a VRS utilizada no RTK em rede é a estação PPTE.

(a) Período da manhã entre 7h18min e 8h45min

(b) Período da tarde entre 14h49min e 16h22min

Figura 25 – EMQ obtido na estação ADAM no dia 20/11/2009 no período da manhã e da tarde

(a) Período da manhã entre 7h13min e 8h28min

(b) Período da tarde entre 12h43min e 13h40min

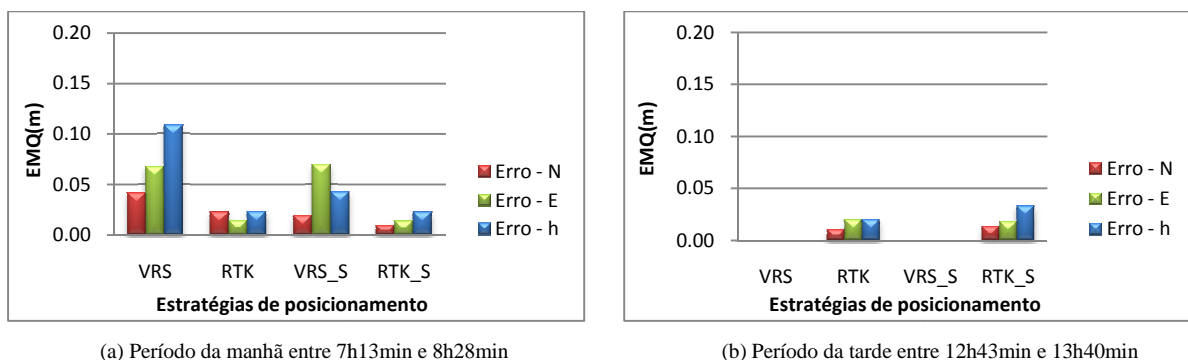



Figura 26 – EMQ obtido na estação ADAM no dia 21/11/2009 no período da manhã e da tarde

Analisando a Figura 25 (a) não é possível afirmar qual a melhor estratégia para o posicionamento, pois utilizando RTK ou RTK em rede os resultados foram bastante semelhantes. Já na Figura 25 (b) a estratégia RTK apresentou resultados melhores principalmente na componente altimétrica, se comparado a VRS. Sendo que essa diferença foi da ordem de 13 cm. Entretanto, o RTK_S apresentou resultados piores tanto para a componente altimétrica como nas componentes horizontais, provavelmente devido a ionosfera, pois o valor do I95 obtido em torno das 16 horas foi maior.

No que concerne a Figura 26 (a), é possível ver claramente que os resultados do RTK e RTK_S foram melhores. Isso mostra como a ionosfera parece afetar mais a qualidade dos resultados obtidos a partir do RTK em rede (VRS e VRS_S), pois ao analisar os valores do I95 dos dias 20 e 21 verifica-se que no dia 21 esse índice foi maior para o período referente às coletas que no dia 20. Isso evidência uma maior sensibilidade aos efeitos da ionosfera no posicionamento em rede, fato que diverge do esperado.

Na Figura 26 (b) não se é possível fazer comparação do RTK com o RTK em rede, uma vez que as estratégias VRS e VRS_S não foram coletas devido a falha de conexão. Já os resultados obtidos para o RTK e RTK_S foram bastante satisfatórios, pois o EMQ ficou entre 2 e 3 cm.

6.2.3 Estação ASSI

No campus da UNESP em Assis, localizou-se a estação ASSI, distante aproximadamente 64,77 km da estação de referência OURI, como pode ser observado na Figura 27.

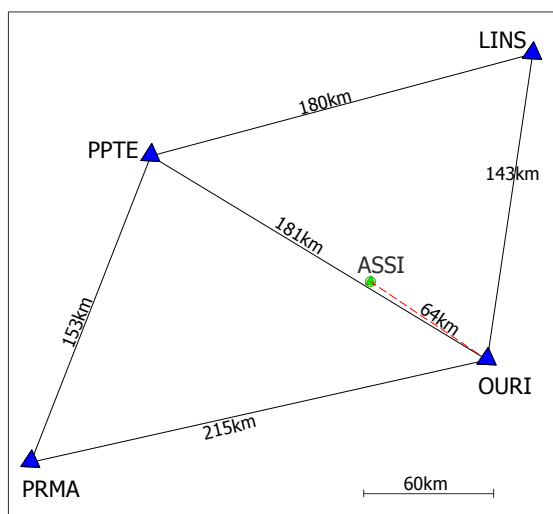



Figura 27 – Configuração das estações próximas a ASSI

O experimento na estação ASSI foi realizado seguindo a mesma metodologia utilizada nos outros experimentos. Os dados coletados no posicionamento RTK e RTK em rede utilizaram como base a estação OURI. As coletas ocorreram nos dias 13 e 14/01/2010.

Na estação ASSI a disposição do equipamento durante os experimentos é apresentada pela Figura 28. Essa estação possui um pilar de concreto de 1,2 m de altura, 0,30 m de diâmetro e dispositivo que possibilita centrar de forma força o receptor.

Figura 28 – Local do experimento em Assis

A particularidade desse experimento é que a estação base OURI não coleta dados GLONASS (receptor NetRS). Dessa forma, seguindo as estratégias de coleta definidas

para os experimentos, não foi possível fazer o posicionamento utilizando as observáveis GLONASS uma vez que não havia dados na base. Consequentemente, a diferença entre as estratégias RTK para RTK_S e VRS para VRS_S é a presença da observável L2C.

6.2.3.1 I95

Os valores obtidos para o I95 no contexto da rede GNSS-SP são utilizados para analisar os experimentos realizados na estação ASSI. As Figuras 29 e 30 apresentam os valores do I95 obtidos para cada hora ao longo do dia.

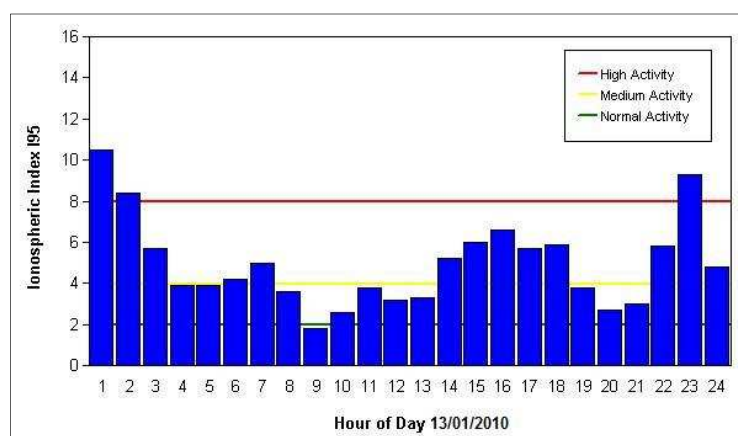



Figura 29 – I95 para a rede GNSS-SP no dia 13/01/2010

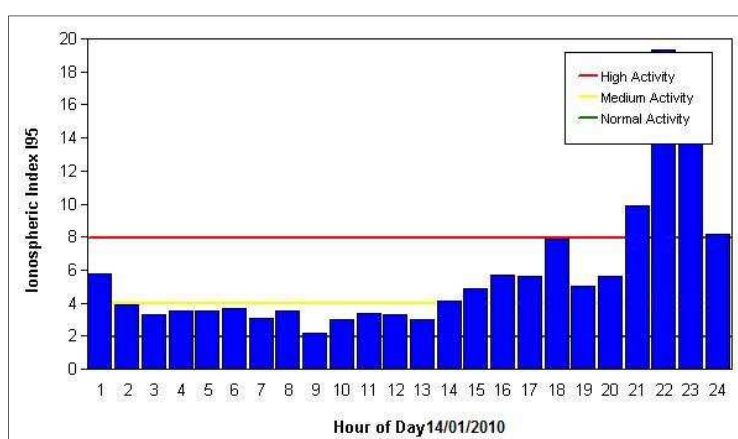



Figura 30 – I95 para a rede GNSS-SP no dia 14/01/2010

Na Figura 29 os valores obtidos para o I95 apresentaram comportamento um pouco diferenciado, pois os valores entre 7 e 13 horas tiveram uma variação maior que

nos outros dias analisados. Porém, continuou sendo o período com a melhor condição para o posicionamento. Já na Figura 30 tem-se uma condição mais uniforme para os valores de I95, além dos valores serem menores, o que dá uma melhor condição para o posicionamento em um período maior, entre 2 e 13 horas.

Dessa forma, analisando os valores de I95, se observa que durante os períodos da manhã se tem as melhores condições de posicionamento.

6.2.3.2 Indicadores da acurácia

Na estação ASSI foram estimadas as coordenadas com base no posicionamento RTK e RTK em rede, e a partir das mesmas foram realizadas algumas análises estatísticas. A Figura 31 apresenta o EMQ para as componentes (N, E e h) obtidos com diferentes estratégias. Nessa coleta a estação base utilizada foi a estação OURI.

(a) Período da manhã entre 9h16min e 10h48min

(b) Período da tarde entre 13h22min e 15h15min

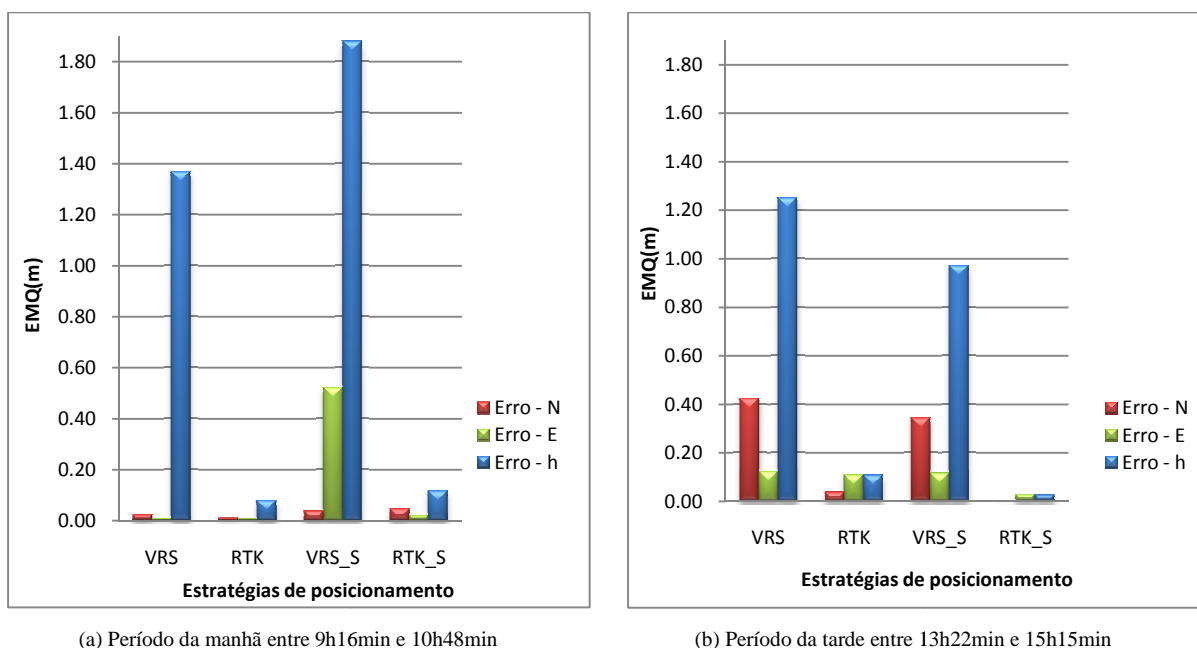
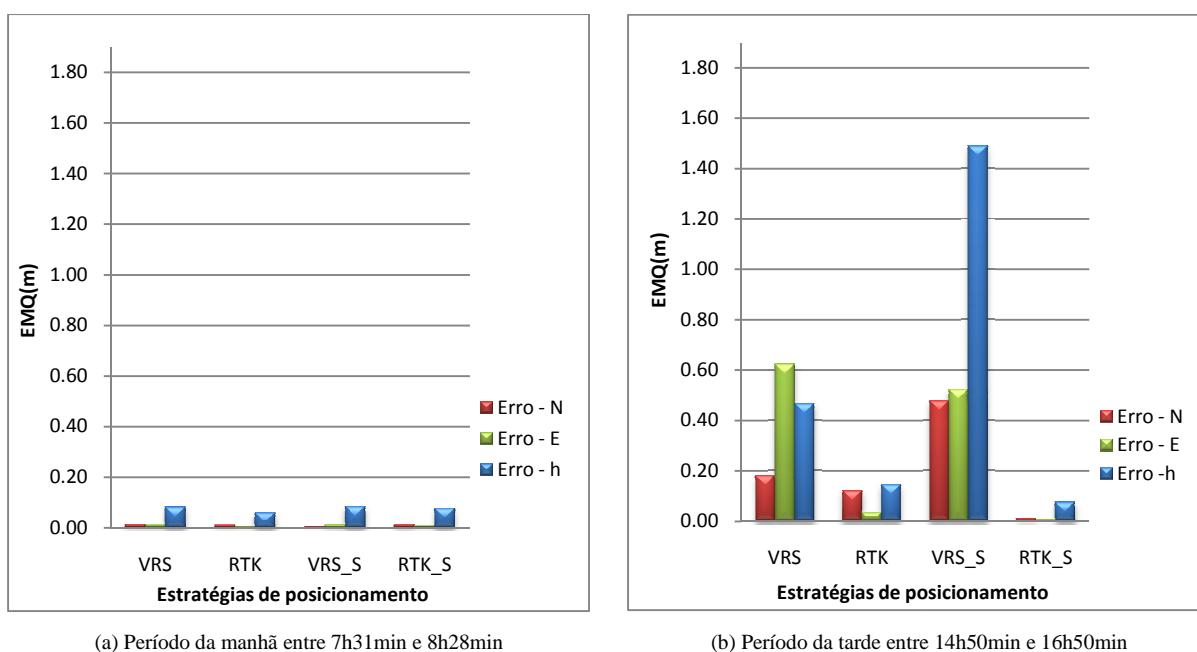



Figura 31 – EMQ obtido na estação ASSI no dia 13/01/2010 no período da manhã e da tarde

Analisando a Figura 31 (a) observa-se uma diferença significativa na componente altimétrica entre a estratégia VRS e RTK, uma vez que os valores obtidos a partir da segunda inicialização feita na estratégia VRS apresentaram discrepâncias de ordem de 2 m na componente altimétrica. Dessa forma, o EMQ para VRS na componente altimétrica foi de 1,37 m, enquanto no RTK foi de 8 cm. Vale salientar que ao adotar a estratégia VRS_S foi

observado que EMQ teve um valor ainda maior, pois na componente altimétrica obteve-se um EMQ de 1,88m e na componente E um valor de 52 cm.

Verifica-se a partir da Figura 31 (b) que, de uma forma geral, o RTK e RTK_S foram às estratégias que mais se sobressaíram, pois as diferenças em relação às estratégias VRS e VRS_S foram bastante significativas. Continuando a analise na Figura 31 (a) e (b) não foi possível perceber diferença significativa nos resultados ao comparar estratégias com e sem a observável L2C.

Na Figura 32 são apresentados os resultados obtidos na estação ASSI para o segundo dia de coleta.

(a) Período da manhã entre 7h31min e 8h28min

(b) Período da tarde entre 14h50min e 16h50min

Figura 32 – EMQ obtido na estação ASSI no dia 14/01/2010 no período da manhã e da tarde

Nota-se na Figura 32 (a) que os valores são muito semelhantes, não sendo possível afirmar qual a melhor estratégia. Com relação aos resultados obtidos, ambos foram satisfatórios comparados com os valores da Tabela 02, pois o erro máximo ficou em torno de 8 cm para a componente altimétrica.

A outra análise realizada no período da tarde, ilustrada na Figura 32 (b), demonstra que as estratégias RTK e RTK_S apresentaram melhor desempenho, sendo que o RTK_S obteve os menores valores para o EMQ. Já na estratégia VRS_S os resultados foram os piores obtidos.

6.2.4 Estação TUPA

No parque de exposições da cidade de Tupã, na área reservada do parque de diversões encontra-se a estação TUPA, distante aproximadamente 84.13 km da estação de referência ARAC, como pode ser observado na Figura 33. A estação possui um pilar de concreto de 1,1 m de altura, 0,30 m de diâmetro e dispositivo que possibilita centrar de forma forçada o receptor.

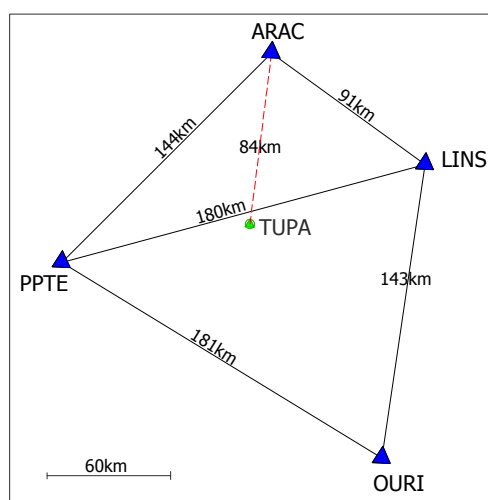



Figura 33 – Configuração das estações próximas a TUPA

A disposição do equipamento durante os experimentos na estação TUPA é apresentada pela Figura 34.

Figura 34 – Local do experimento em Tupã

Com relação à metodologia adotada nos experimentos na estação TUPA, foi seguida a mesma utilizada nas outras estações. A estação ARAC foi utilizada como base para o posicionamento RTK e RTK em rede e as coletas ocorreram nos dias 18 e 19/11/2009.

6.2.4.1 I95

Para os experimentos realizados na estação TUPA, utilizou-se os valores obtidos para o I95 no contexto da rede GNSS-SP para facilitar as análises. As Figuras 35 e 36 apresentam os valores do I95 obtidos para cada hora ao longo do dia.

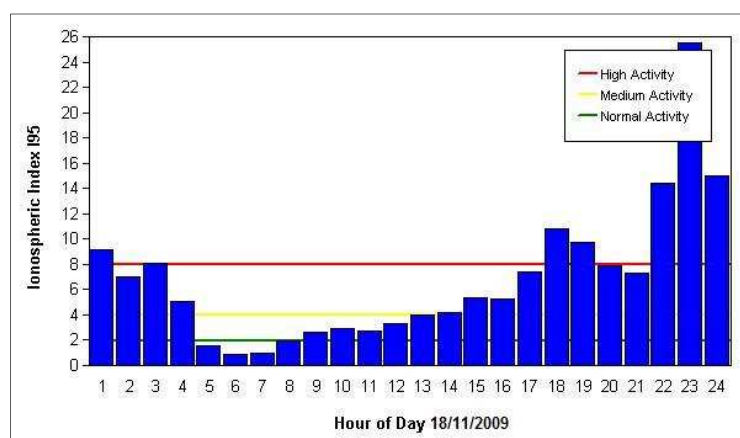



Figura 35 – I95 para a rede GNSS-SP no dia 18/11/2009

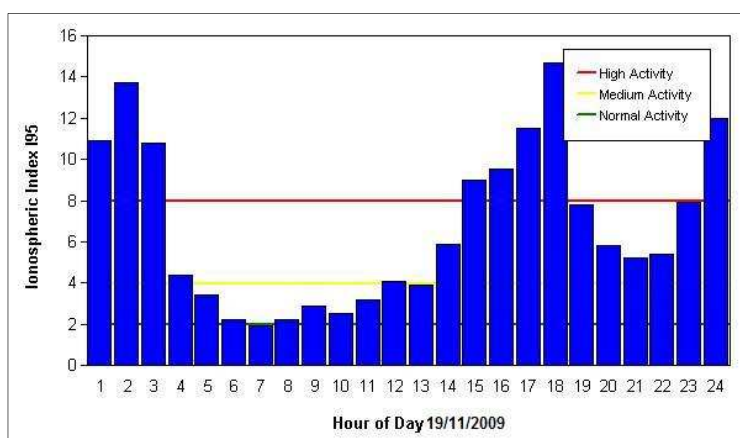



Figura 36 – I95 para a rede GNSS-SP no dia 19/11/2009

Os valores obtidos para o I95, Figura 35, apresentaram um comportamento muito semelhante aos obtidos nos dias dos experimentos em ASSE, ASSI e ADAM, pois os

menores valores foram obtidos no período da manhã. Nos dias 18 e 19 os menores valores para o I95 ocorreram no período entre 5 e 13 horas locais.

6.2.4.2 Indicadores da acurácia

Na estação TUPA as coordenadas foram comparadas com as coordenadas oficiais da mesma, e a partir daí foram feitas algumas análises estatísticas. As Figuras 37 e 38 apresentam o EMQ.

a) Período da manhã entre 7h39min e 9h13min

b) Período da tarde entre 13h07min e 15h34min

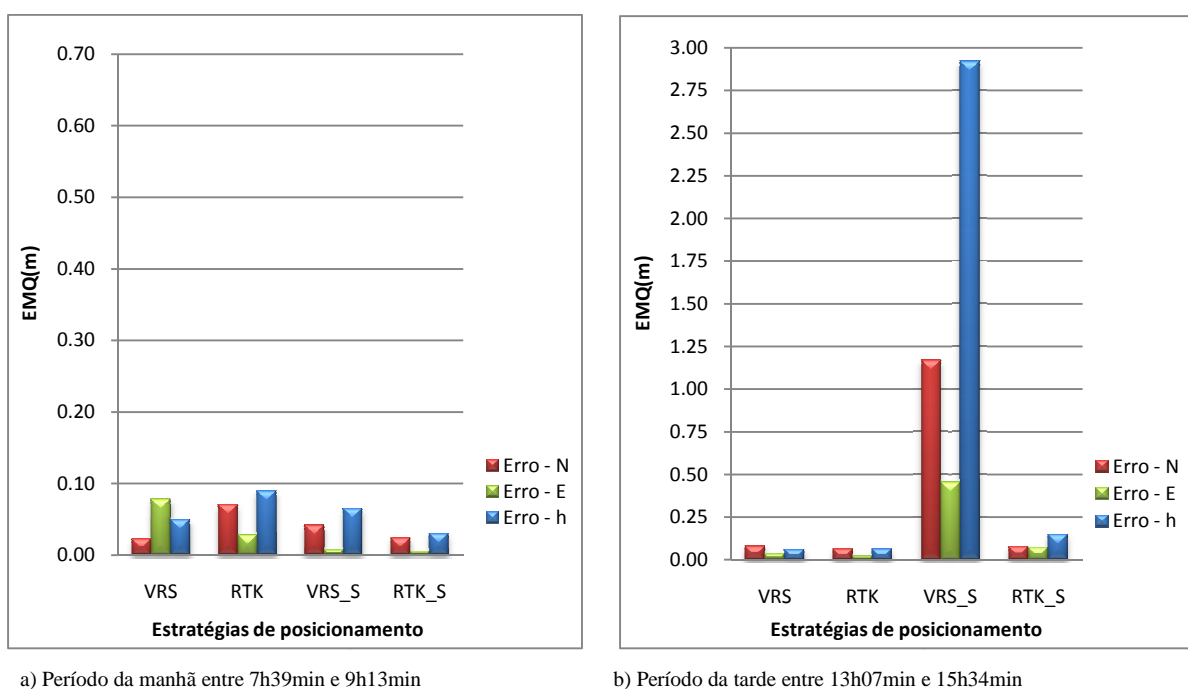



Figura 37 – EMQ obtido na estação TUPA no dia 18/11/2009 no período da manhã e da tarde

a) Período da manhã entre 7h03min e 8h10min

b) Período da tarde entre 12h48min e 14h50min

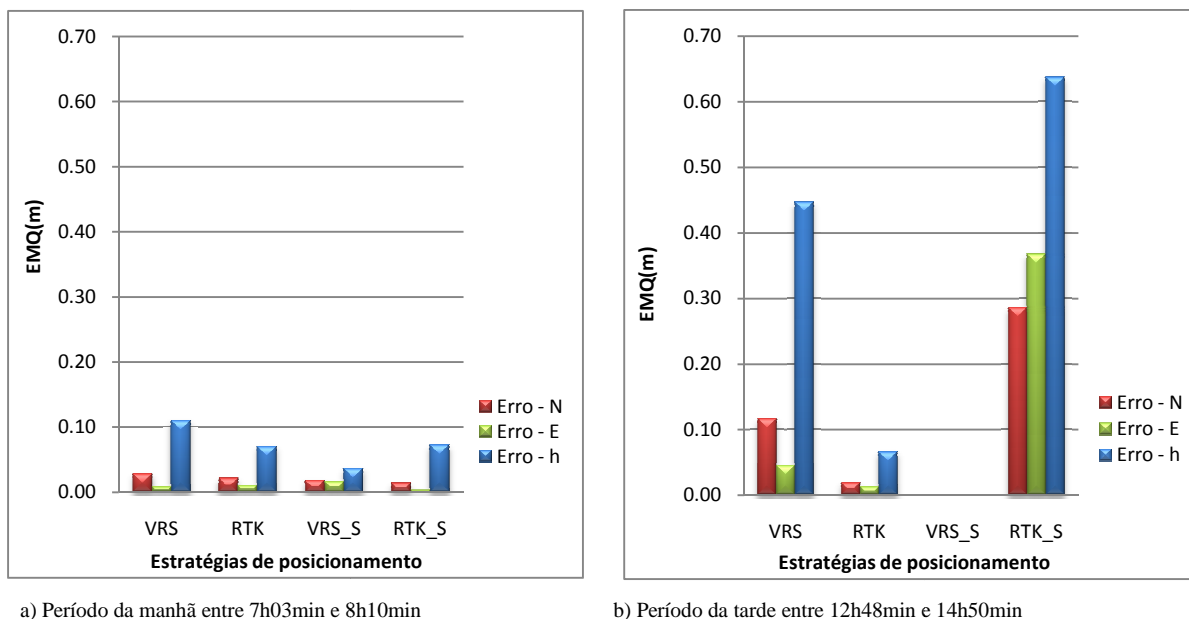



Figura 38 – EMQ obtido na estação TUPA no dia 19/11/2009 no período da manhã e da tarde

Nas Figuras 37 (a) e (b), pode-se verificar a acurácia obtida nas diferentes estratégias de posicionamento, para o período da manhã e da tarde. Observa-se que os resultados obtidos no período da manhã foram semelhantes. Entretanto, comparando os resultados obtidos no período da tarde verifica-se que a estratégia VRS_S apresentou resultados piores, principalmente na componente altimétrica, onde a magnitude do nível de acurácia indicado pelo EMQ foi 2,92 m. Valor destoante do esperado para o posicionamento em tempo real.

Outro fato ocorrido durante a coleta da VRS_S evidenciou a dificuldade do posicionamento dos dados envolvidos nessa estratégia. Na segunda tentativa de inicialização das ambiguidades, não foi obtida a solução fixa após um intervalo de 30min de espera, o que inviabilizou a segunda etapa de coleta.

Pode-se notar na Figura 38 (a) que, de uma forma geral, a acurácia é pior na componente altimétrica. Nessa componente, a estratégia que obteve melhor resultado foi a VRS_S com EMQ de 3,7 cm e o pior foi a VRS com EMQ de 11 cm. Já analisando os resultados obtidos pelas estratégias RTK e RTK_S percebe-se que são bastante similares e não é possível afirmar qual a melhor estratégia.

Analisando a Figura 38 (b) percebe-se que não há resultados para a estratégia VRS_S. Isto ocorreu em virtude da instabilidade ocasionada pela falta de conexão das estações de referência OURI e ROSA com o servidor, no instante dessa coleta. Além disso, verifica-se que a estratégia RTK obteve o melhor resultado. Os valores nas

componentes N, E e h são 1,9 cm, 1,3 cm e 6,6 cm respectivamente. No entanto, para o RTK_S os valores de acurácia indicados pelo EMQ nas componentes N, E e h são respectivamente 28 cm, 36 cm e 63 cm.

Observando o I95 na Figura 36 é possível identificar que após as 13 horas a ionosfera se tornou muito mais perturbada e este período coincide com a coleta da estratégia RTK. Essa análise traz evidências dos motivos pelos quais estes resultados foram piores.

Analisando ainda a Figura 38 (b) verifica-se que a acurácia obtida na estratégia VRS foi pior que no RTK e a maior discrepância está na componente altimétrica.

6.2.5 Estação PANO

Na zona rural próxima a cidade de Panorama encontra-se a estação PANO, distante aproximadamente 93.39 km da estação de referência PPTE, como pode ser observado na Figura 39. A escolha dessa estação é baseada na necessidade de avaliar uma linha de base longa. Dentre as estações coletadas na área de abrangência da rede GNSS-SP esta pode ser considerada a situação mais desfavorável.

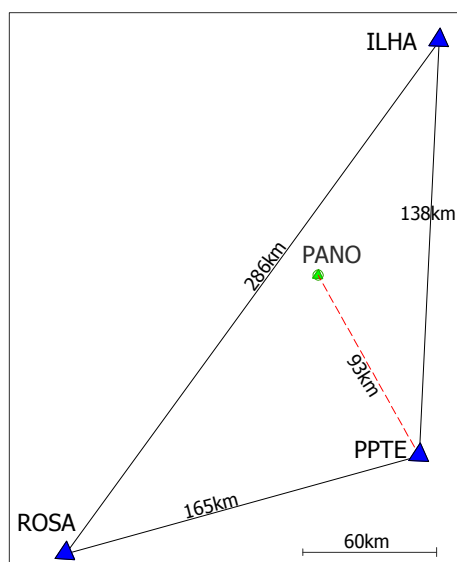



Figura 39 – Configuração das estações próximas a PANO

Durante os experimentos na estação PANO seguiu-se a mesma metodologia adotada para as coletas dos demais experimentos. A estação mais próxima é PPTE, assim sendo ela foi utilizada como base nos experimentos com o RTK e RTK em rede. As coletas ocorreram nos dias 02 e 03/12/2009.

A estação PANO possui um marco de concreto com dispositivo para centrar de forma forçada o equipamento e está localizada numa área de pastagem sem obstruções na sua vizinhança, dentro de uma propriedade rural. A disposição do equipamento na estação PANO é apresentada pela Figura 40.

Figura 40 – Local do experimento em Panorama

6.2.5.1 I95

Na estação PANO os valores obtidos para o I95 no contexto da rede GNSS-SP foram utilizados para analisar os experimentos realizados. Os valores do I95 são apresentados nas Figuras 41 e 42 para cada hora ao longo do dia.

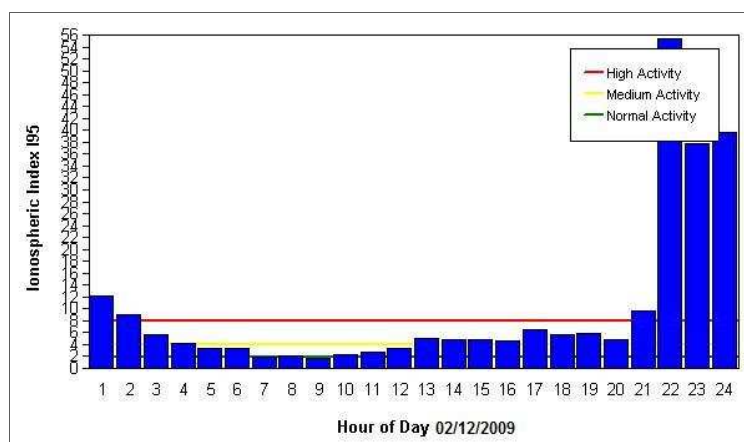



Figura 41 – I95 para a rede GNSS-SP no dia 02/12/2009

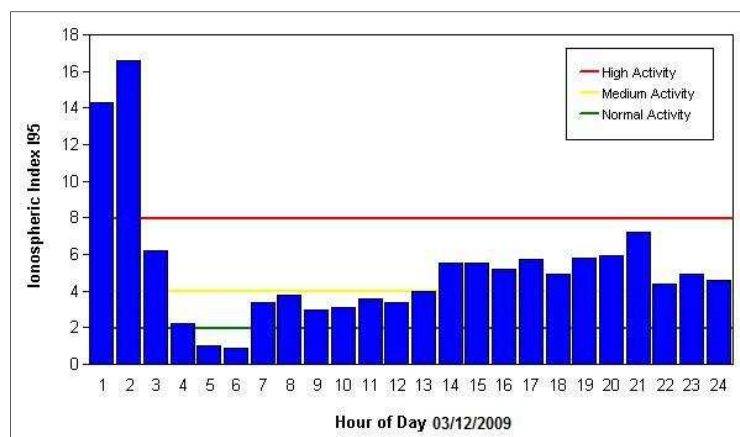
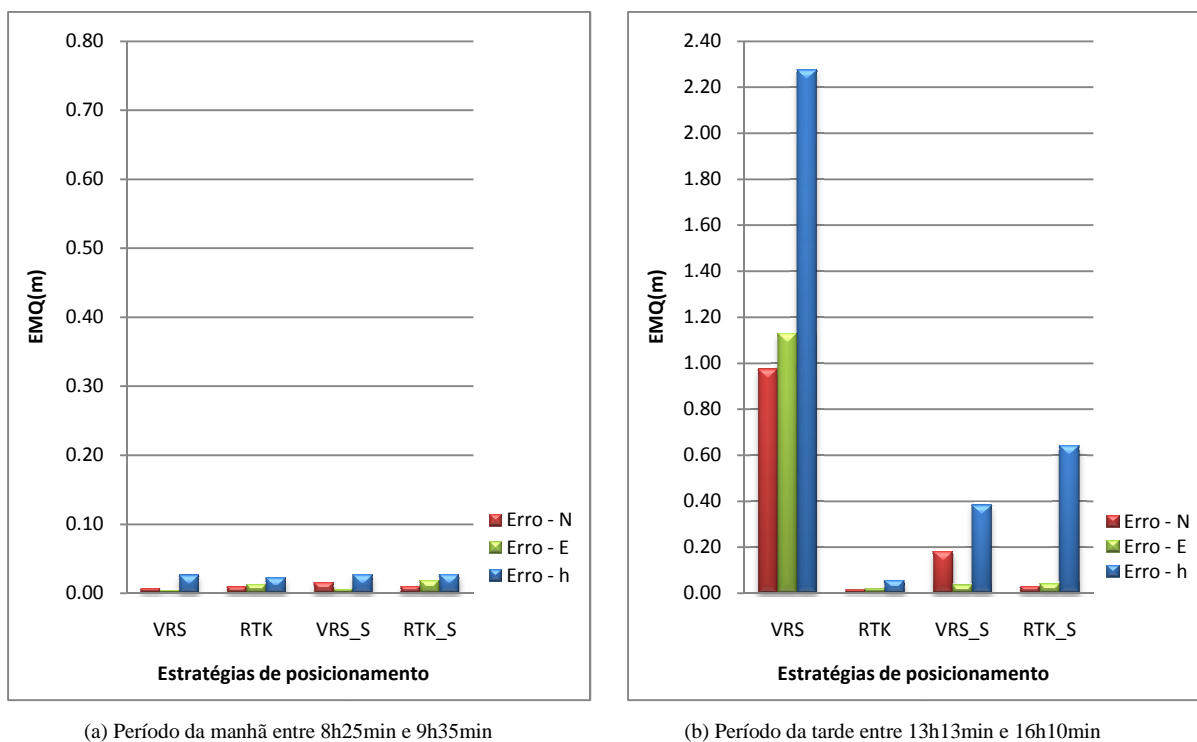



Figura 42 – I95 para a rede GNSS-SP no dia 03/12/2009

Como pode ser visto na Figura 41, os valores obtidos para o I95 entre 7 e 11 horas são os menores, o que reforça a afirmativa que o período da manha apresenta uma condição melhor para o posicionamento RTK e RTK em rede. No período noturno o valor obtido para o I95 foi muito grande, por volta das 22 horas chegou ao pico de 56. Valor esse que provavelmente inviabiliza o posicionamento.

Na Figura 42 é possível verificar que nas primeiras horas do dia há ainda um reflexo da perturbação da ionosfera identificada nas ultimas horas do dia 02 (Figura 41). Por volta das 5 e 6 horas foi obtido o menor I95 ao longo do dia 03, com valor próximo de 1. Para o restante da manhã os valores do I95 ficaram entre 3 e 4 até as 14 horas. Já no período da tarde o I95 variou entre 5 e 6. Valores bem semelhantes aos obtidos durante o dia 02.

6.2.5.2 Indicadores da acurácia

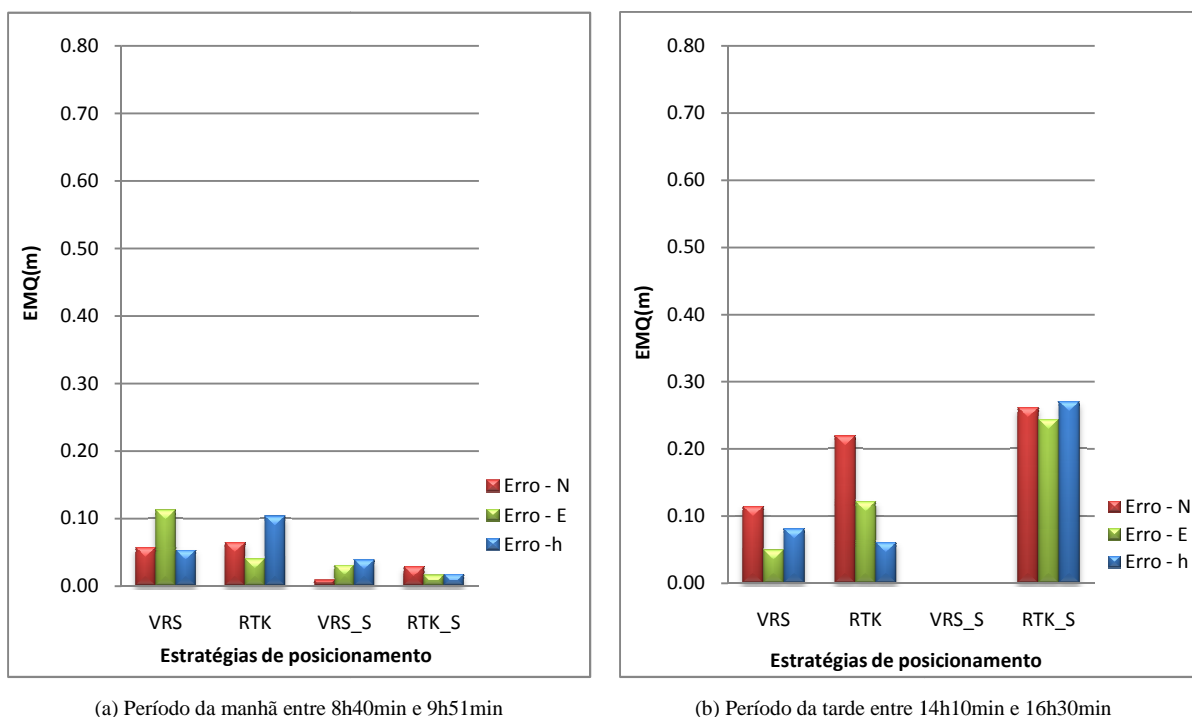
A Figura 43 apresenta o EMQ para as componentes (N, E e h) obtidos com diferentes estratégias. Durante a coleta, a estação base utilizada tanto para o RTK, como para o RTK em rede, é a estação PPTE.

(a) Período da manhã entre 8h25min e 9h35min

(b) Período da tarde entre 13h13min e 16h10min

Figura 43 – EMQ obtido na estação PANO no dia 02/12/2009 no período da manhã e da tarde

Analisando a Figura 43 (a) é possível dizer que todas as estratégias obtiveram valores melhores que 3 cm para a componente altimétrica. Para a componente **N** os valores foram menores que 1,5cm e na componente **E** valores menores que 1,8 cm.

A partir da Figura 43 (b) percebe-se que a estratégia RTK obteve resultados melhores que 2 cm nas componentes N e E e 6 cm para a componente altimétrica. Já a estratégia VRS apresentou o pior resultado, uma vez que o EMQ na componente altimétrica obtido foi de 2,27 m e nas componentes N e E o valor ficou próximo de 1m.

Os resultados obtidos durante o segundo dia de experimentos na estação PANO são apresentados na Figura 44.

(a) Período da manhã entre 8h40min e 9h51min

(b) Período da tarde entre 14h10min e 16h30min

Figura 44 – EMQ obtido na estação PANO no dia 03/12/2009 no período da manhã e da tarde

Pode-se observar na Figura 44 (a) que a acurácia é da ordem de 10 cm para as estratégias VRS e RTK. Já nas estratégias VRS_S e RTK_S, que não utilizam as observáveis do sistema GLONASS, os resultados foram melhores que 4 cm para as componentes N, E e h.

Os resultados obtidos no período da tarde, Figura 44 (b), em geral foram piores, principalmente para a estratégia VRS_S que não foi possível obter solução fixa, consequentemente não obteve resultados. Na estratégia VRS foram obtidos resultados, mas a amostra contém apenas 50 pontos, devido a perda da inicialização durante a coleta, e não foi obtida uma nova solução, o que reduz a significância dos resultados. Para a estratégia RTK_S os resultados ficaram menores que 25 cm, igualmente para as componentes N, E e h. Já no RTK obteve-se resultados melhores que no RTK_S, porém os resultados não foram tão satisfatórios, como pode-se observar a partir dos valores obtidos para as componentes N, E e h, 22 cm, 12 cm e 6 cm respectivamente. Visto que, por exemplo, Afonso (2006), que aplicou metodologia semelhante, obteve resultados melhores que 6,6 cm para o posicionamento interno a rede. Porém, cabe salientar que a rede utilizada por ele apresentava uma densidade muito maior.

6.2.6 Estação BATA

Na cidade de Bataguassu-MS, no pátio da escola municipal Marechal Rondon, existe uma estação pertencente ao SGB (BATA). Essa estação possui um marco de concreto com dispositivo para centrar de forma forçada. No entanto, a cobertura para a quadra de esportes ocasiona a obstrução aproximada de ¼ do campo de visada do receptor. Essa obstrução ocasionou a determinação de outro ponto para a estação BATA, localizado na praça, aproximadamente à 50 m da escola.

A estação BATA dista aproximadamente 104.39 km da estação de referência ROSA, como pode ser observado na Figura 45.

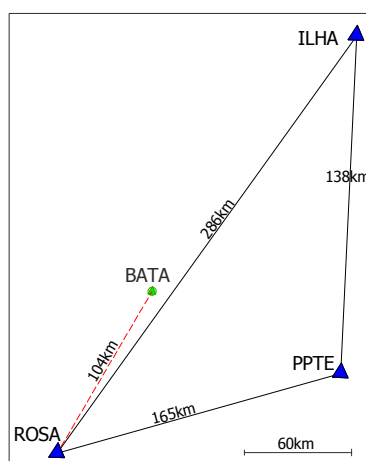



Figura 45 – As estações mais próximas a BATA

A estação BATA está localizada fora do limite de abrangência da rede GNSS-SP, limite esse definido pelas estações de referência que circundam a rede. Esta estação pode ser considerada em situação desfavorável se comparada com as demais estações utilizadas nos experimentos, pois está a 10 km de distância, da área abrangência da rede. Espera-se que por estar fora da rede não sejam obtidos resultados melhores que no seu interior.

O experimento conduzido na estação BATA seguiu a mesma metodologia utilizada nas demais estações e os dados foram coletados durante os dias 11 e 12/01/2010.

6.2.6.1 I95

A partir dos valores obtidos para o I95 no contexto da rede GNSS-SP é possível analisar os experimentos realizados na estação BATA. Para a estação BATA

utilizou-se os valores do I95 apresentados nas Figuras 46 e 47 obtido para cada hora ao longo do dia.

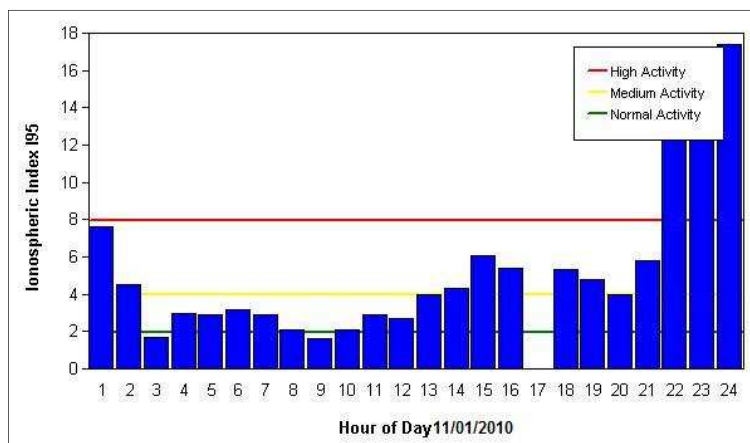



Figura 46 – I95 para a rede GNSS-SP no dia 11/01/2010

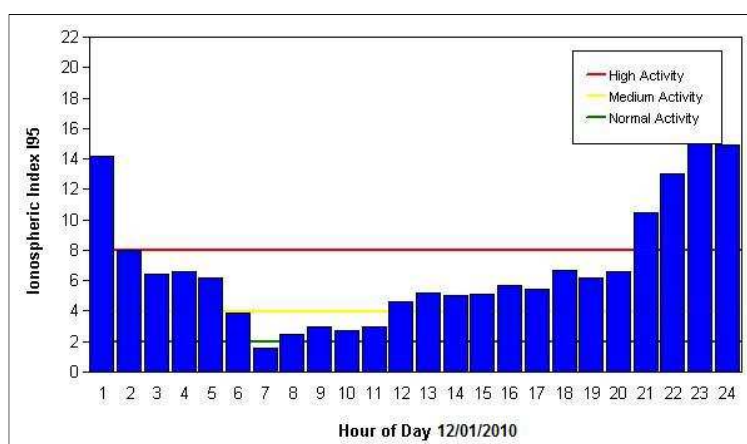



Figura 47 – I95 para a rede GNSS-SP no dia 12/01/2010

Como pode ser observado na Figura 46, os valores obtidos para o I95 entre 8 e 12 horas são menores que 3, o que dá indícios que o período da manhã apresenta uma condição melhor para o posicionamento RTK e RTK em rede se comparado ao período da tarde. Também pode-se observar que às 17 horas não foi calculado o I95, provavelmente devido *software* GPSNet ter sido reiniciado.

Analisando os valores obtidos para o dia 12 (Figura 47) verifica-se um comportamento similar ao obtido no dia 11, pois os menores valores ocorrem no período da manhã. Já no período da tarde há um ligeiro aumento e durante a madrugada, entre 1 e 5 horas, e após as 20 horas, observa-se valores maiores que 6.

6.2.6.2 Indicadores da acurácia

As Figuras 48 e 49 apresentam o EMQ para as componentes (N, E e h) obtidos com diferentes estratégias. Durante os experimentos a estação ROSA foi utilizada como a base.

(a) Período da manhã entre 9h43min e 11h11min

(b) Período da tarde entre 15h42min e 16h44min

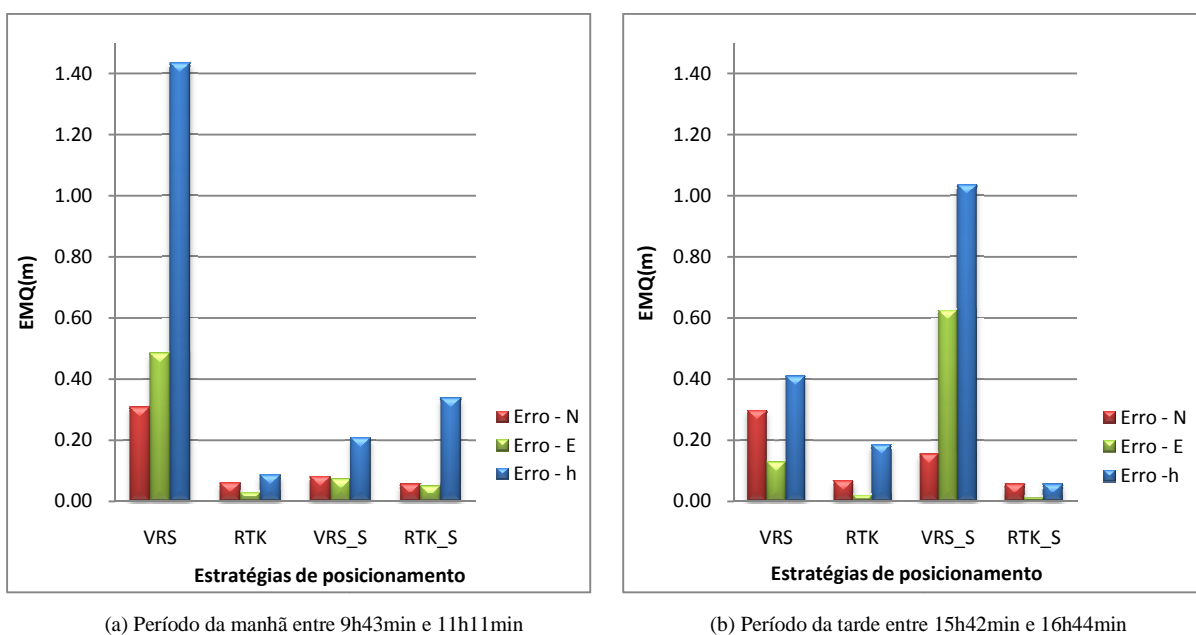



Figura 48 – EMQ obtido na estação BATA no dia 11/01/2010 no período da manhã e da tarde

(a) Período da manhã entre 7h53min e 9h43min

(b) Período da tarde entre 13h12min e 15h21min

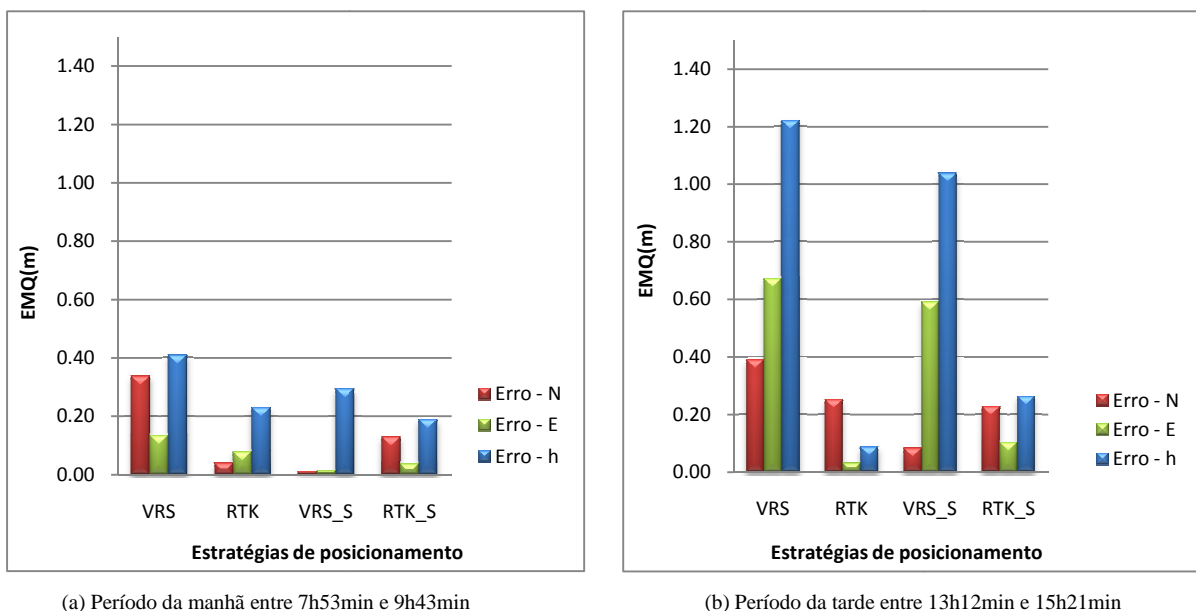



Figura 49 – EMQ obtido na estação BATA no dia 12/01/2010 no período da manhã e da tarde

Verifica-se na Figura 48 (a) que o melhor resultado obtido foi para a estratégia RTK, pois, os valores obtidos nessa estratégia para as componentes N, E e h foram

6,0, 2,8 e 8,6 cm, respectivamente. Já na estratégia VRS obteve-se 30,7 cm, 48,4 cm e 1,434 m. Observa-se que as diferenças são bastante significativas. Nas estratégias VRS_S e RTK_S os valores foram similares, apenas na componente altimétrica obteve-se uma diferença maior.

Nota-se que no período da tarde, Figura 48 (b), as estratégias RTK e RTK_S apresentaram desempenho melhor que as estratégias baseadas no RTK em rede.

Na Figura 49 (b) é possível observar que as estratégias RTK e RTK_S também obtiveram os melhores desempenhos, concordando com os resultados apresentados na Figura 48 (b) e isto reforçar a consideração sobre as estratégias que apresentaram melhor desempenho na estação BATA.

Após a analise dos resultados obtidos para as seis localidades pode-se constatar que a componente altimétrica foi sempre pior que a planimétria. Dessa forma a próxima seção apresenta uma análise geral para esses resultados.

6.2.7 Análise geral da acurácia dos resultados

Na avaliação da acurácia vários fatores trazem influências negativas para os resultados obtidos no posicionamento em tempo real. Dentre eles pode-se destacar alguns, tais como a distância da estação móvel à estação base e o efeito da ionosfera, quantificado no I95.

Os valores de acurácia obtidos estão diretamente relacionados com a distância da estação base ao usuário, tanto para o RTK como no posicionamento RTK em rede, sendo que nesse último a distância em relação a estação base utilizada para gerar os dados da VRS.

Para analisar os resultados de acurácia obtidos com diferentes distâncias da base foi realizado um comparativo dos valores obtidos na componente altimétrica. Esta foi empregada em virtude de ter apresentado os piores resultados.

Como o I95 é um bom indicativo dos efeitos da ionosfera para o posicionamento RTK e RTK em rede, ele também foi adotado como um fator de análise dos resultados, uma vez que a comparação utiliza resultados de dias e horários distintos. Porém, foi necessário adotar uma nomenclatura para o I95 associado ao nome da estratégia de processamento. Isso foi necessário pois as coletas de dados nas diferentes estratégias foram realizadas em diferentes horários.

A Figura 50 apresenta um gráfico que sumariza os resultados obtidos na componente altimétrica (EMQ) no período da manhã e da tarde, para o 1º dia da coleta de

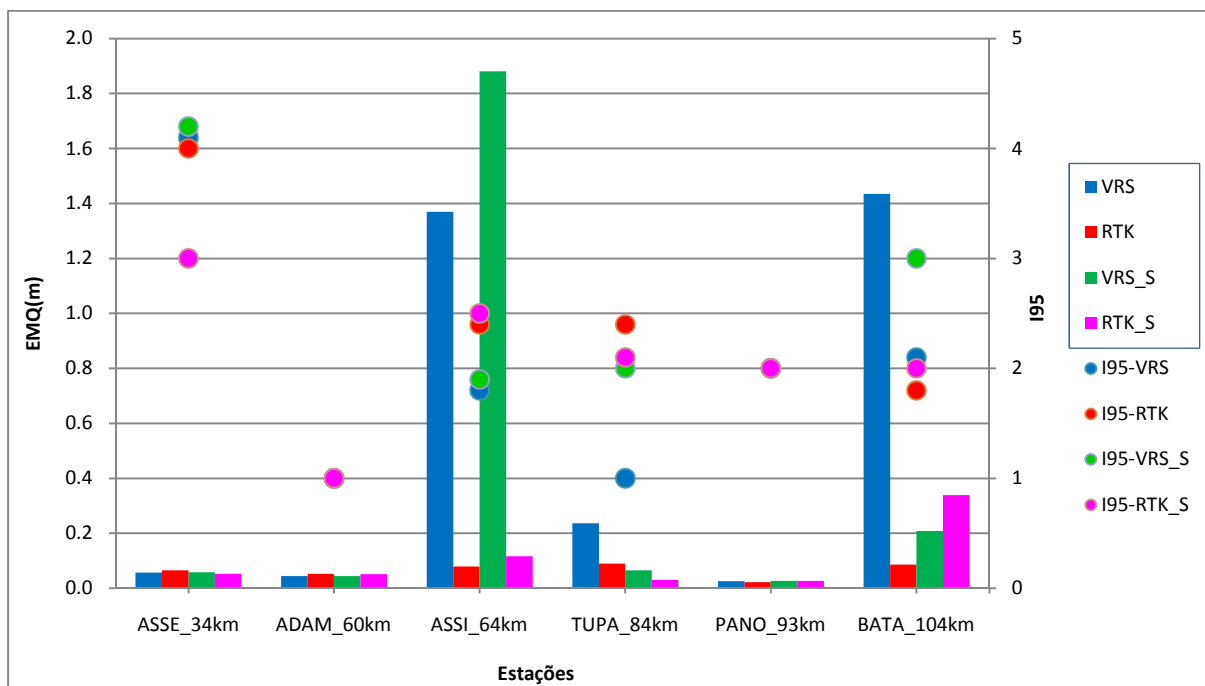
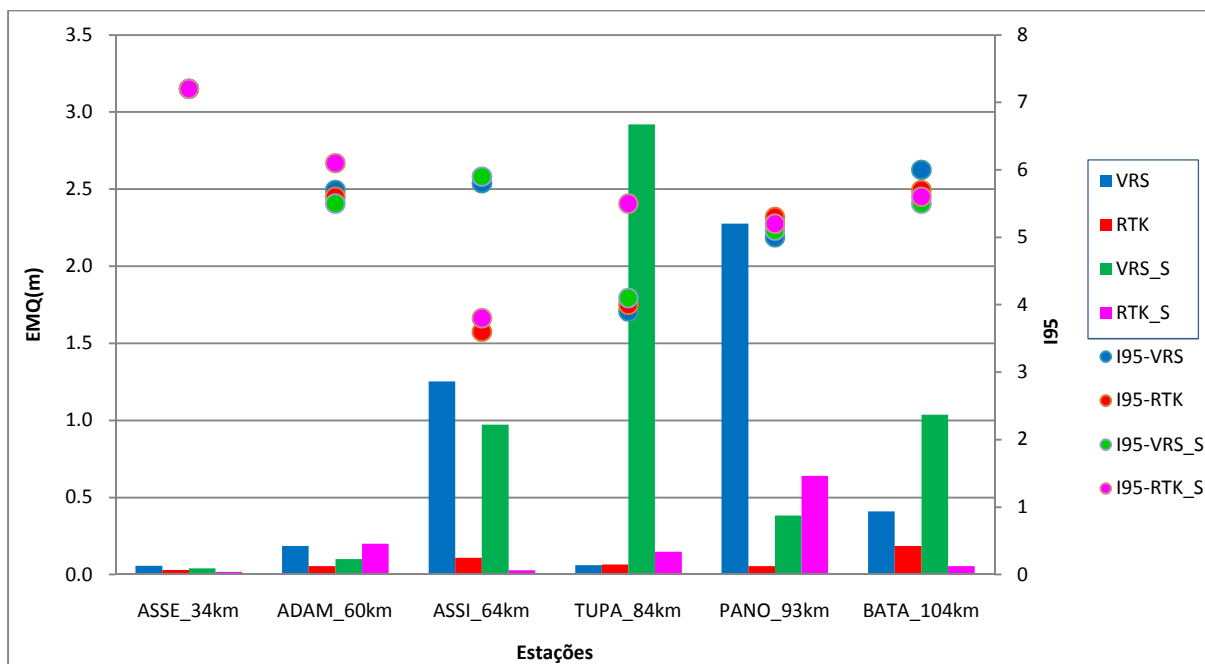
todas as estações. Na mesma figura também são apresentados os valores de I95 calculados da rede GNSS-SP no período de cada coleta. Os gráficos referentes ao segundo dia de processamento são apresentados no Apêndice B.

(a) Período da manhã para o 1º dia de processamento

(b) Período da tarde para o 1º dia de processamento

Figura 50 – EMQ obtido na componente altimétrica e os valores de I95 (da rede) para os horários de coleta de cada estratégia.

Analisando as Figuras 50 (a) e (b) percebe-se que, em geral quanto maior a distância da base os resultados se tornam piores. Essa relação do EMQ com a distância era esperada para o posicionamento RTK, mas não para o posicionamento em rede (VRS e VRS_S).

Com base em todos os resultados é possível observar que para as estratégias RTK e RTK_S com I95 < 4 e a distância da base até 93 km, todos os erros (EMQ) apresentaram-se menores que 10 cm. Já para as estratégias VRS e VRS_S com I95 < 4, a acurácia melhor que 10 cm só foi obtida para distâncias de até 60 km.

Os resultados obtidos na estação BATA (localizada fora da área de abrangência da rede e a mais de 100 km da base) para as estratégias RTK e RTK_S apresentaram valores inferiores a 30 cm, mas nas estratégias VRS e VRS_S foram obtidos valores de até 1,4 m.

Para o período da tarde os erros são significativamente maiores, isto provavelmente está relacionado ao efeito da ionosfera como pode ser visto pelos valores do I95. Fato que já havia sido constatado nas análises individuais de cada experimento, porém quando as distâncias aumentam os resultados advindos dos dados coletados no período da tarde são muito deteriorados e muita das vezes se tornam insatisfatórios.

Com base nos resultados apresentados na Figura 50 (a) e (b) é possível ver evidências que a qualidade do posicionamento (RTK e RTK em rede) sofre influências tanto das distâncias da base como da ionosfera. Utilizando todos os resultados obtidos nas diferentes estações, dias e períodos (manha e tarde) foi calculado a média geral para EMQ nas componentes N, E e h para as diferentes estratégias (VRS, RTK, VRS_S e RTK_S).

Na Tabela 04 são apresentados os valores médios obtidos para cada estratégia.

Tabela 04 – Média geral do EMQ para as componentes N, E e h (m)

Estratégias	Componentes					
	N	DP*	E	DP*	h	DP*
VRS	0,159	0,223	0,169	0,286	0,480	0,610
RTK	0,052	0,064	0,029	0,031	0,076	0,051
VRS_S	0,132	0,268	0,151	0,228	0,518	0,777
RTK_S	0,060	0,083	0,050	0,085	0,147	0,177

*Desvio padrão da média

Observando a Tabela 04 pode-se perceber que, na média, a estratégia RTK proporcionou o melhor desempenho, cujo EMQ foi de 5,2, 2,9 e 7,6 cm, respectivamente, paras as componentes N, E e h. Já a estratégia VRS, que utilizou as mesmas observáveis, proporcionou 15,9, 16,9 e 48 cm, respectivamente, para as mesmas componentes.

Comparando as estratégias RTK_S e VRS_S apresentados na Tabela 04 observa-se que novamente a estratégia baseada numa única estação base (RTK_S) obteve resultados melhores e pode-se verificar que as diferença são bastante significativas.

Na configuração atual da rede GNSS-SP, com a atual densidade, é possível concluir que o RTK em rede é mais influenciado pelos fatores de distância e ionosfera (I95) que o RTK.

A comparação das diferentes estratégias de processamento para o posicionamento RTK e RTK em rede tinha como objetivo identificar qual apresentaria melhor desempenho. Baseado nos experimentos conduzidos no contexto da rede GNSS-SP é possível concluir que a estratégia RTK obteve o melhor desempenho, seguida por RTK_S, VRS e, por último, VRS_S.

Esses resultados confirmam as especificações do fabricante, onde não é de se esperar bons resultados no RTK em rede para redes com densidade no nível da do Estado de São Paulo. Isto mostra a necessidade de investigações nesta área, tal como vem sendo a desenvolvida por Alves (2009). Além disto, deve-se lembrar que os experimentos foram realizados num período de baixa atividade ionosférica, como pode ser observado ao analisar a Figura 51. Note também que a atividade ionosférica irá intensificar muito nos próximos anos.

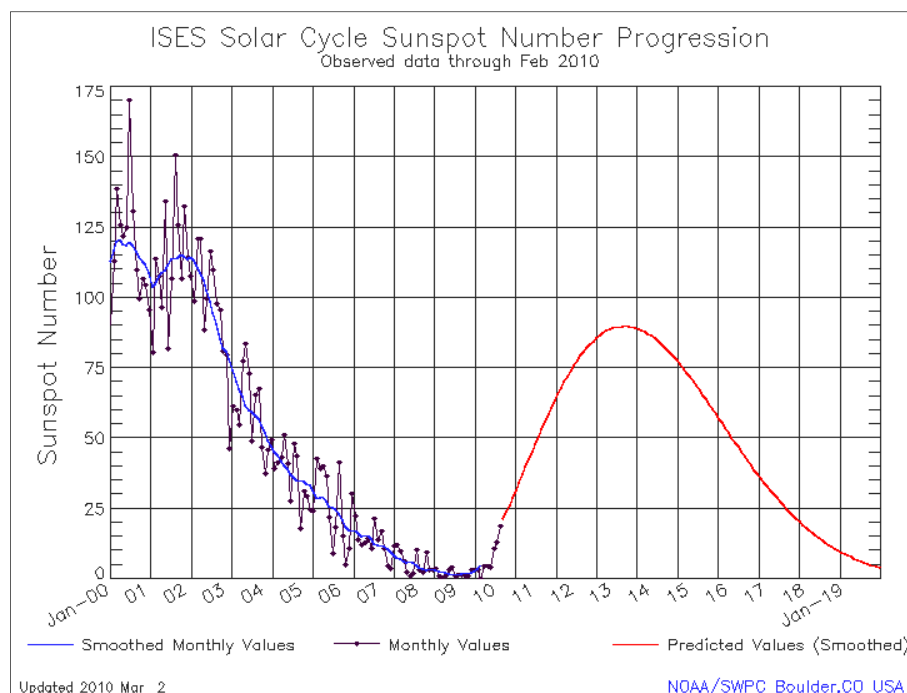



Figura 51 – Ciclo solar e a predição para os próximos anos (indicativos para a ionosfera)

Fonte: http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/

Na Figura 51 são apresentadas as observações com o número de manchas solares. Nota-se que os experimentos realizados nesta pesquisa estavam dentro do ciclo solar baixo. Mas pelas predições para os próximos anos, percebe-se que os valores tendem a aumentar. Como já se sabe quanto maior o número de manchas solares, maiores são os efeitos da ionosfera e com isto um reflexo negativo no posicionamento GNSS.

6.3 Disponibilidade

A disponibilidade, como foi definida anteriormente (Seção 2.5.3), é uma medida de porcentagem de tempo durante o qual um sistema de navegação funciona dentro da sua área de cobertura. No entanto, para o posicionamento RTK e RTK em rede são necessários que outros sistemas também estejam disponíveis. Dentre eles pode-se citar o acesso a rede de telefonia celular que o usuário utiliza para realizar o enlace com o servidor e a comunicação contínua que o servidor mantém com as estações de referência da rede.

Avaliar a disponibilidade na rede de telefonia não é uma tarefa fácil, uma vez que depende da colaboração das operadoras das redes celulares. Na tentativa em obter os dados sobre a disponibilidade da rede de telefonia celular, foi feito um contato junto a duas

operadoras de celular solicitando essas informações. No entanto, nenhuma informação foi disponibilizada por parte das mesmas, pois alegaram ser uma informação confidencial. Outra informação que também foi solicitada junto às operadoras foi o mapa que informa a área de cobertura da rede telefonia celular dentro da rede GNSS-SP. Essa informação também foi negada pelas operadoras. As operadoras só informaram que o planejamento para a colocação das antenas inclui apenas a cobertura das áreas urbanas e não há preocupação com as áreas rurais.

Logo, para os dados de disponibilidade serão apresentadas as informações disponibilizadas pelos relatórios obtidos do *software* GPSNet, que ilustra o desempenho durante o processamento da rede e a disponibilidade ao usuário.

Cabe salientar que não se trata apenas de um desempenho oriundo do *software*, mas do conjunto que compõe a rede, que engloba informações referentes a: aos receptores, o enlace de comunicação e o processamento.

O processamento da rede realizado pelo *software* GPSNet avalia o desempenho de cada estação de referência ao longo do dia. Esta informação é disponibilizada na forma de uma figura que mostra a quantidade de satélites, para três condições:

- ✓ *Tracked* **-** número de satélites rastreados;
- ✓ *Processed* - número de satélites utilizados no processamento;
- ✓ *Solved* - número de satélites cujas correções foram calculadas.

A Figura 52 apresenta o resumo do processamento realizado no dia 19/11/2009 para a estação PPTE.

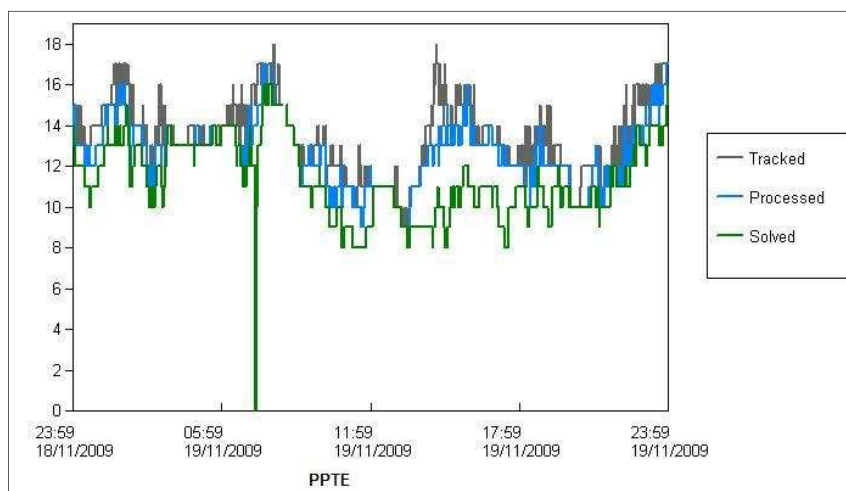



Figura 52 – Número de satélites processados da estação PPTE

Analisando a Figura 52 percebe-se que o número de satélites com dados disponíveis processados só pode ser menor ou igual ao número de satélites rastreados. Da mesma forma pode-se dizer que o número de satélites com solução nunca será maior que o número de processados.

Além dessa informação apresentada na Figura 52, o *software* também calcula a porcentagem de tempo em que a estação esteve disponível para o posicionamento RTK em rede e o seu desempenho (performance) que é a porcentagem entre o número de satélites com solução para o posicionamento em rede em relação ao número de satélites rastreados.

Essas informações foram empregadas para determinar a disponibilidade da rede GNSS-SP. Foram analisados os resultados obtidos dos doze dias de experimentos. Isto foi feito para todas as estações de referência, de forma a identificar o desempenho da rede como um todo.

Na Tabela 05 os valores de disponibilidade[16] e desempenho para rede GNSS-SP são apresentados.

Tabela 05 – Valores de porcentagem da disponibilidade e do desempenho da rede GNSS-SP

Data	Disponibilidade	Desempenho
18/11/2009	98,3%	90,8%
19/11/2009	82,3%	92,0%
20/11/2009	98,9%	92,1%
21/11/2009	95,4%	90,7%
02/12/2009	98,5%	92,4%
03/12/2009	98,8%	89,8%
11/01/2010	100%	89,9%
12/01/2010	99,3%	92,0%
13/01/2010	97,3%	91,1%
14/01/2010	99,1%	92,0%
19/02/2010	97,1%	90,9%
20/02/2010	94,0%	91,2%

Nota-se pela Tabela 05 que os valores de disponibilidade na maioria dos dias ficaram entre 90% e 100%. Apenas no dia 19/11/2009 o valor obtido foi 82,3%. Isto

[16] O valor atribuído a disponibilidade é a porcentagem de tempo em que a estação de referência esteve rastreando um número de satélites superior a 5. A não disponibilidade é computada quando esse número de satélites é inferior a 5 para um intervalo superior a 10 segundos.

ocorreu devido a perda de conexão das estações OURI e ROSA com o servidor durante aproximadamente 50% do dia.

Os valores obtidos para o desempenho de processamento ficaram em média 5% inferiores dos valores de disponibilidade. Isto representa que aproximadamente 5% do número de satélites rastreados não estavam disponíveis para o posicionamento em rede.

Com base nos valores calculados foi possível verificar que a rede GNSS-SP esteve operacional em média mais de 95% do tempo.

6.4 Integridade

Para analisar a integridade do sistema foram calculados os valores de HPL e VPL, seguindo a teoria apresentada na Seção 2.5.4, para diferentes localidades e estratégias. Porém foram adotadas amostras menores que as utilizadas para avaliar a acurácia. Isso ocorreu em virtude da dificuldade de obter da controladora, de forma automatizada, os valores da MVC.

Foi necessário retirar os valores da MCV de forma manual, o que inviabilizou o processamento de todos os pontos coletados. Dessa forma, foram escolhidos pontos que pudessem dar uma representatividade da diversidade dos resultados.

Para calcular os valores de VPL e HPL são necessários os valores da MVC dos parâmetros estimados no sistema de coordenadas locais e o sigma a priori. Logo, foram realizadas as propagações da MVC do sistema cartesiano para o sistema local e assim calculados os valores para HPL e VPL.

Analisando possíveis valores para propor o limite de alarme (AL), decidiu-se adotar neste trabalho o valor de 10 cm, como sendo o limite a ser ultrapassado pelos níveis de proteção horizontal (HPL) e vertical (VPL) para acionar o alarme. Isso se deve ao fato de que no posicionamento RTK e RTK em rede assumiu-se que não se deseja acurácia inferior a esse limiar.

Nessa seção os valores para HPL e VPL são apresentados apenas para as estações ASSE e PANO, as quais apresentaram a melhor e a pior condição para o posicionamento dentro da rede, respectivamente. Para as demais estações os resultados podem ser consultados no Apêndice C.

Os valores obtidos e apresentados na Figura 53 referem-se à coleta com base no posicionamento RTK e RTK em rede. Ela descreve a integridade (HPL) da

componente horizontal e os valores de acurácia obtidos para estação ASSE, em cada ponto analisado.

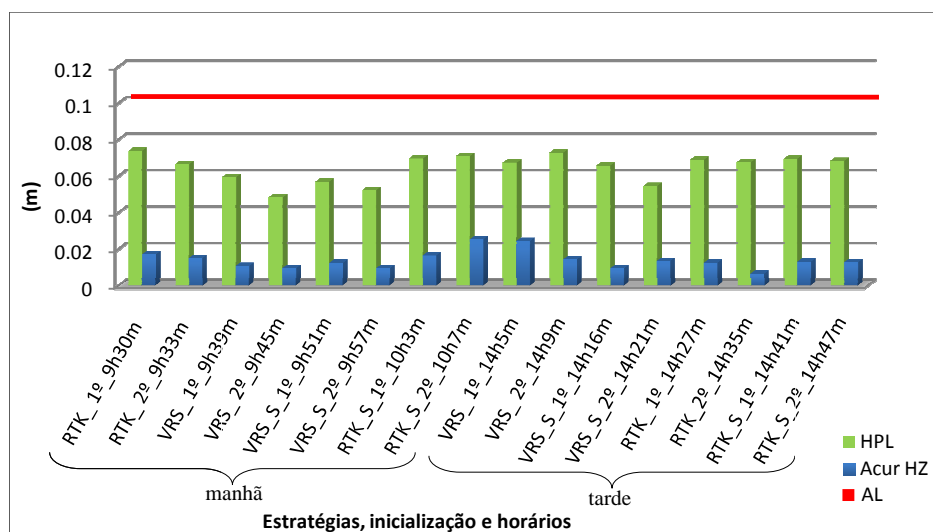



Figura 53 – Comparação entre os resultados de HPL e os erros obtidos na estação ASSE para o dia 19/02/2010

Com relação aos valores de HPL, espera-se que estes sejam maiores que os valores de acurácia, visto que a estimativa do HPL estabelece um nível de segurança para garantir que as informações possam ser dadas corretamente. A partir da Figura 53 pode-se notar que para as diferentes estratégias e períodos do dia a integridade foi garantida, pois os valores de HPL são menores que o AL. Comparando os valores do HPL com os valores de acurácia é possível verificar que nenhuma informação equivocada seria dada ao usuário do sistema.

Dentro do conceito de PL, a componente vertical é definida segundo as estimativas do VPL. Dessa forma, na Figura 54 são apresentados os valores de VPL e da acurácia obtidos na estação ASSE.

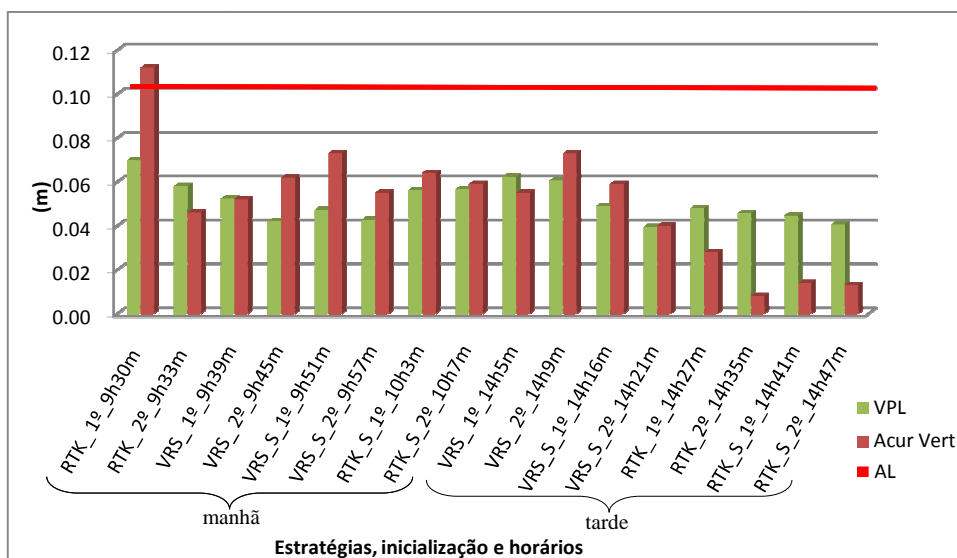



Figura 54 – Comparação entre os resultados de VPL e os erros obtidos na estação ASSE para o dia 19/02/2010

Analisando a Figura 54 é possível verificar que alguns valores obtidos para o VPL não representam um bom indicativo para garantir a integridade. Pois em alguns casos os valores de VPL são menores que os obtidos na acurácia, o sistema informaria equivocadamente a disponibilidade quando não deveria. Um exemplo desse engano ocorre no ponto obtido utilizando a estratégia RTK_9h30m da manhã. Nesse caso o valor para VPL foi 7 cm e a acurácia obtida foi de 11cm, valor esse que também está acima do limite de alarme, porém não seria acionado o alarme, pois o VPL não ultrapassou o limite para o alarme (AL).

Nota-se que os resultados obtidos no posicionamento RTK e RTK em rede normalmente são piores para a componente vertical. Mas, os modelos adotados são mais conservadores para essa componente em virtude das necessidades da aviação civil.

Cabe acrescentar que os modelos desenvolvidos para calcular a integridade nas aplicações da aviação civil são baseados no posicionamento por código, pois a qualidade exigida é da ordem de 6m na horizontal e 2m na vertical para um CAT. III (CAA, 2004). Já no posicionamento RTK a acurácia exigida é muito melhor, de ordem centimétrica.

Outro fato que deve ser observado é que, quando o vetor das ambiguidades é fixado, a precisão é muito otimista para o posicionamento. No entanto, as vezes esses valores não estão corretos (devido a solução incorreta das ambiguidades), mas a precisão permanece muito boa, porém não acurada.

Na Figura 55 encontra-se os resultados para a estação PANO, que possui a situação menos favorável se comparada as demais estações coletadas.

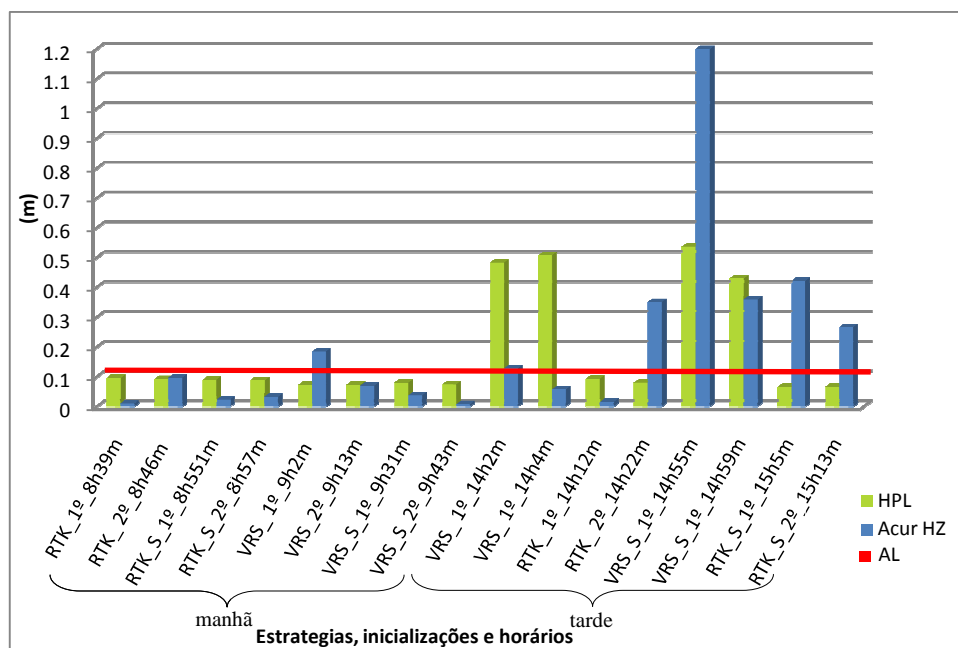



Figura 55 – Comparação entre os resultados de HPL e os erros obtidos na estação PANO para o dia 03/12/2009

Nota-se na Figura 55 que dos 16 casos analisados seis apresentaram valores de HPL inferiores a acurácia, o que representa aproximadamente 35% dos resultados. Além do mais, quatro desses pontos obtiveram valores de HPL que garantiam a integridade, porém, os valores de acurácia ultrapassam o AL (informação equivocada). No período da manhã obteve-se o melhor desempenho e pode-se observar que nas estratégias RTK_S e VRS_S os valores de acurácia em relação ao HPL são mais coerentes (VPL > Acurácia). No período da tarde é possível observar que os casos obtidos nas estratégias VRS (14h2min) e VRS_S (14h59min) apresentam valores de HPL que informam a perda da integridade. Porém cabe salientar que no período da tarde as estratégias VRS e VRS_S foram coletadas com ambigüidades flutuantes. Voltando a analisar o período da tarde, observa-se que na primeira e segunda inicialização obtidas para a estratégia RTK_S há problemas com a solução das ambiguidades. Neste caso têm-se valores de HPL da ordem de 6 cm, ao passo que a acurácia obtida foi de 40cm para a coleta as 15h5min e 26cm para as 15h13min.

Na analise geral dos valores de HPL apresentados na Figura 55 é possível afirmar que em 56% dos casos os valores foram coerentes com acurácia obtida, os demais 44% apresentaram alguma inconsistência.

Continuando com a análise da integridade na estação PANO, são apresentados na Figura 56 os valores de VPL.

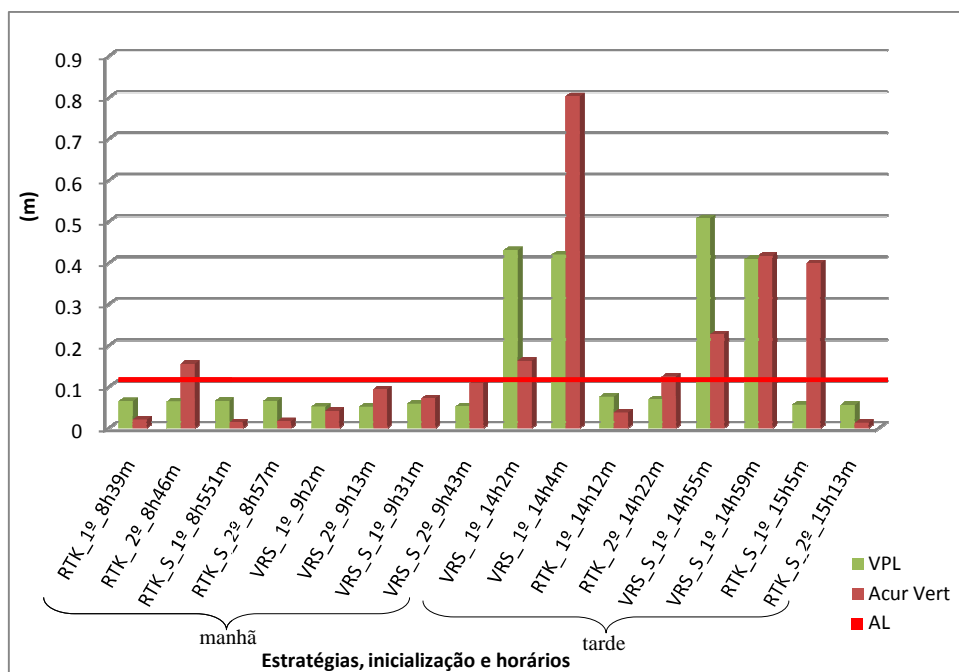



Figura 56 – Comparação entre os resultados de VPL e os erros obtidos na estação PANO para o dia 03/12/2009

Observando os valores de VPL (Figura 56) obtidos na estação PANO é possível identificar que dos 16 casos, apenas 8 apresentaram resultados coerentes (VPL > Acurácia) o que representa 50 % da amostra. Os melhores resultados foram obtidos para a estratégia RTK_S no período da manhã. No período da tarde o VPL informa que a integridade foi perdida para as estratégias VRS e VRS_S. Porém, o pior ocorreu nos casos RTK (8h46min), VRS (9h43min), RTK (14h22min) e RTK_S (15h5min) em que o VPL equivocadamente garante a integridade. Isto provavelmente ocorreu em virtude da inicialização errada das ambiguidades.

Na Tabela 06 foram realizadas análises para verificar o desempenho obtido pelos indicadores de integridade HPL e VPL em relação a acurácia e o AL. A Tabela 06 apresenta um sumário dos resultados obtidos para todas as estações. Para detalhes adicionais das estações ADAM, ASSI, TUPA e BATA consulte o Apêndice C.

Na obtenção dos valores de porcentagem apresentados na Tabela 06 foram consideradas três condições para a análise da integridade:

- ✓ Na primeira condição é avaliado se a acurácia é menor que os valores de HPL e VPL respectivamente para as componentes horizontais e verticais (Acu. Horz. < HPL e Acu. Vert. < VPL).
- ✓ Na segunda condição é analisado se a integridade aparente é garantida pelos índices HPL e VPL com relação ao AL (HPL< AL e VPL<AL).

- ✓ Na terceira análise verifica-se os índices HPL e VPL são menores que o AL e também se os valores de acurácia são menores que o AL.

Tabela 06 – Taxa de sucesso da integridade para as componentes Horizontais e Verticais.

Estação	Horizontal			Vertical		
	AC*<HPL	HPL<AL	HPL <AL e AC* <AL	AC* <VPL	VPL<AL	VPL <AL e AC* <AL
ASSE	100%	100%	100%	43,8%	100%	93,8%
ADAM	75,0%	81,3%	75,0%	68,8%	87,5%	75,0%
ASSI	80,0%	81,3%	68,8%	26,7%	100%	68,8%
TUPA	56,3%	81,3%	56,3%	56,3%	87,5%	62,5%
PANO	62,5%	75,0%	50,0%	50,0%	75,0%	50,0%
BATA	46,7%	86,7%	60,0%	33,3%	100%	33,3%
Média	70,1%	84,2%	68,3%	46,5%	91,7%	63,9%

*Acurácia

Observando a Tabela 06 pode-se perceber que quando a condição para o posicionamento (aumento da distância) se tornou pior, mais equívocos ocorreram nos valores de integridade. A coerência nos resultados para HPL e VPL em relação a acurácia foi na média 70,1% e 46,5% para a componente horizontal e vertical, respectivamente. Para a componente vertical existiu uma grande dificuldade em fornecer um indicativo real para os resultados. A garantia da integridade indicada por HPL< AL e VPL< AL foi de 84,2% e 91,7%, valores relativamente bons, mas não representam a acurácia, pois quando se verificou também AC<AL obteve-se em média 68,3% e 63,9% para as componentes horizontal e vertical. Esses valores estão muito aquém dos obtidos somente pelos indicadores HPL e VPL.

Vale citar que esse foi um primeiro exercício de aplicação dos conceitos de Integridade no posicionamento RTK, razão pela qual muitas melhorias deverão ainda ser factíveis de serem realizadas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesta dissertação foi apresentada uma revisão teórica sobre os principais conceitos envolvidos no RTK em rede, os quais são utilizados para descrever os componentes necessários nesse tipo de posicionamento. Foram apresentados ainda os conceitos relacionados ao cálculo da integridade, bem como a sua origem na aviação civil e a possibilidade de sua utilização junto com o conceito de RTK em rede. Além dos conceitos de integridade, foram apresentados os da acurácia, da disponibilidade e da continuidade.

A revisão sobre os padrões para transmissão e recepção de dados GNSS mostrou a evolução do padrão RTCM, bem como de padrões desenvolvidos por fabricantes de equipamentos, os quais possibilitam um melhor entendimento das particularidades de cada um. Além disso, foram citadas suas aplicações no RTK e RTK em rede, pois os dados e ou correções de rede foram transmitidas nesse formato. Já com relação aos sistemas de comunicação há varias possibilidades. Nessa pesquisa utilizou-se a rede de telefonia móvel para prover o acesso a Internet, cujos conceitos básicos de funcionamento também foram descritos.

Detalhes do funcionamento do *software* GPSNet foram descritos para que se possa viabilizar o seu uso no RTK e RTK em rede. Dentro da metodologia adotada para o RTK em rede, foi selecionado o uso do conceito de VRS. Tal conceito requer um enlace de comunicação bidirecional, pois o receptor móvel deve enviar as suas coordenadas aproximadas para o centro de controle, que em seguida disponibiliza os dados da VRS para prover o posicionamento.

A metodologia adotada para o posicionamento RTK e RTK em rede foi apresentada com os detalhes das estratégias adotadas.

Os experimentos foram realizados de tal forma que pudesse dar condições iguais para cada estratégia adotada durante as coletas e, consequentemente, permitir uma avaliação conclusiva em relação ao melhor desempenho. Os experimentos também mostraram que o enlace de comunicação utilizando a rede de telefonia móvel foi bastante eficiente, pois possibilitou o posicionamento RTK utilizando distâncias de quase 110 km entre o usuário e a base.

Com relação aos resultados apresentados no capítulo 6 pode-se observar que o EMQ obtido com o RTK, no geral, apresenta os melhores desempenhos para a acurácia do posicionamento.

Um fato relevante é com relação a rede GNSS-SP, que atualmente possui as estações de referencia numa configuração esparsa, entre 90 e 280 km e não atende as especificações do software GPSNet. Tal fato não permite uma análise mais conclusiva sobre os resultados obtidos no RTK em rede, onde seria necessário avaliar em condições ideais, se o software atenderá a acurácia especificada pelo fabricante. Porém, somente adensar as redes não seria o único caminho. Uma outra alternativa pode ser o investimento em pesquisas para melhorar os modelos utilizados para determinar as correções obtidas de uma rede mais esparsa, situação usual na América do Sul.

No caso do processamento dos dados do experimento realizado na estação ASSE (distante 34 km da base) a acurácia sempre foi melhor que 2cm para as componentes horizontais. Resultados bastante satisfatórios e dentro das especificações do equipamento. No entanto, deve-se ressaltar que em todos os experimentos o receptor permaneceu estático, apenas o processamento foi realizado no modo cinemático. Porém, se o receptor estiver em movimento, poderiam ocorrer resultados diferentes principalmente devido as mudanças do ambiente.

A partir das análises realizadas para o I95 verificou-se que para valores menores que 4 os resultados obtidos para acurácia são significativamente melhores. Entretanto, deve-se observar que as distâncias da estação base também influenciam os resultados. No caso do posicionamento utilizando RTK os resultados foram melhores que 10 cm para distancias de até 93 km com o índice I95 <4.

Em termos da análise da disponibilidade obtiveram-se valores na média próximo dos 96% o que representa bons resultados, além de mostrar que as conexões apresentam boa estabilidade e desempenho no processamento feito pelo GPSNet.

A análise da integridade para o posicionamento RTK e RTK em rede apresentou algumas dificuldades. Uma delas referente a não contemplação deste conceito nos equipamentos e *softwares* utilizados. Além disso, como são equipamentos comerciais não é possível realizar uma implementação complementar. Porém, foram calculados os valores HPL e VPL apenas para parte dos resultados devido a dificuldade em obter a MVC do posicionamento necessária para o cálculo. Em termos da análise da Integridade, primeiramente foi sugerido um valor para o AL que pudesse satisfazer as aplicações em tempo real. Os resultados obtidos foram em média 68,3% e 63,9% para as componentes

horizontal e vertical, respectivamente. Na componente vertical ocorram mais equívocos para os valores de integridade em relação a acurácia. A utilização do conceito de integridade se mostrou bastante eficiente e útil e os resultados para uma primeira análise se mostraram promissores.

Para trabalhos futuros cabe acrescentar algumas recomendações, tais como:

- Investigar o RTK e RTK em rede para o período de alta atividade ionosférica, analisando o comportamento da acurácia para cada estratégia. Existem grandes indícios que em períodos de atividade ionosférica alta, não seja possível realizar o posicionamento RTK ou mesmo RTK em rede com as distâncias envolvidas na rede utilizada nessa pesquisa.
- Investigar o desempenho do software GPSNET dentro das especificações dadas pelo fabricante.
- Testar com outros modelos, como o que está em desenvolvimento na FCT-UNESP e o disponível no INCRA (GNSMART da Geo++), se o desempenho apresenta melhorias.
- Investigar, o desempenho no emprego cinemático, uma vez que foram testados apenas estático.
- Investigar, dentro do modelo adotado para o cálculo da integridade, valores para a constante *k* que se adequem melhor a componente vertical.

Finalmente, vale ressaltar que para a rede GNSS-SP, a única rede disponível até o momento com densidade que vislumbre o posicionamento RTK em rede, os resultados não foram satisfatórios, mas muito promissores. Assim, permanece a necessidade de uma maior densidade de estações para esse tipo de aplicação. Com relação ao *software*, o sistema se mostra promissor se as deficiências forem sanadas. A disponibilização da integridade ao usuário até o momento não é possível. Isso ocorre devido as adequações necessárias aos equipamentos e *softwares* que facilitem o acesso aos dados da MVC do posicionamento, além de ferramentas que possibilitem ao centro de controle enviar mensagens ao usuário informando quando o sistema não deve ser utilizado.

8 REFERÊNCIAS

AFONSO, A. J. G. **Implementação de uma rede de estações de referência GPS para posicionamento em tempo real**. 2006. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica e Geoinformática) – Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências e Departamento de Matemática, Lisboa.

ALVES, P.; AHN, Y.; LACHAPELLE, G. The effects of network geometry on network RTK using simulated GPS data. In: ION GPS 2003, Oregon Convention Center, Portland. **Proceedings…**, 2003.

ALVES, D. B. M. **Posicionamento GPS utilizando conceito de estação virtual**. 2008. 164f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

______; **Desenvolvimento e implantação do RTK em rede para posicionamento geodésico no Estado de São Paulo**. 2009. Pós-Doutorado - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. Em andamento.

CAA - CIVIL AVIATION AUTORITY. **GPS integrity and potential impact on aviation safety**. Paper 2003/9, April 2004.

CHEN, R.; LI, X.; WEBER, G. Test results of an Internet RTK system based on the NTRIP protocol. In: ION GPS 2003, Oregon Convention Center, Portland. **Proceedings**…, 2003.

DAI, L.; HAN, S.; WANG, J.; RIZOS, C. A Study on GPS/GLONASS multiple reference station techniques for precise real-time carrier Phase-Based positioning. In: ION GPS 2001, Salt Lake City, Utah. **Proceedings…**, 2001.

DAI, L.; WANG, J.; RIZOS, C.; HAN, S. Predicting atmospheric biases for real-time ambiguity resolution in GPS/GLONASS reference station networks. **Journal of Geodesy**, Berlin v. 76 nº11/12, p.617-628, 2003.

ENGEL, F.; HEISER, G.; MUMFORD, P.; PARKINON K.; RIZOS, C.; An open GNSS receiver platform architecture. **Journal of Global Positioning System - GPS** v.3 nº1/2, p. 63-69, 2004.

FORTES, L. P. S. **Optimising the use of GPS multi-reference stations for kinematic positioning.** 2002. 355f. Tese (PhD in Geomatics Engineering) – University of Calgary, Calgary.

FOTOPOULOS, G. **Parameterization of DGPS carrier phase errors over a regional network of reference stations**. 2000. 202f. Dissertação (MSc) – University of Calgary, Calgary.

FOTOPOULOS, G.; CANNON, M. E. An overview of multi-reference station methods for cm-level positioning. **GPS Solutions**, Berlin, v.4, n.3, p.1-10, 2001.

FREIBERGER JUNIOR J. **Análise da degradação do posicionamento em tempo real com o emprego do GNRT**. 2002. 131f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GEGE – **Grupo de Estudo em Geodésia Espacial**. Disponível em: <http://gege.prudente.unesp.br/index_port.php?p=50>. Acesso em: 08 Mar. 2008.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**: Aplicações geodésicas. Curitiba: UFPR, 1994. 319p.

GEO++ – ***GeoService® Satellitengestützte Vermessungen GmbH***. Disponível em: <http://www.geopp.de/index.php?bereich=2&kategorie=&artikel=32&template=1>. Acesso em: 08 Jul. 2009.

GNSS - ***Global Navigation Satellite System***. Disponível em: <fttp://www.insidegnss.com/>. Acesso em: 07 Mar. 2008.

GSA – ***The Global mobile Suppliers Association***. Disponível em: <http://www.gsacom.com> Acesso em: 05 Jul. 2009.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global navigation satellite systerms, GPS, GLONASS, Galileo and more**. Spring-Verlage Wien, 2008. 501p.

IGNSS - *International Global Navigation Satellite Systems Society*. **GNSS Data Protocols:** Choice and Implementation, IGNSS Symposium, Australia, n.26, 2006.

KUROSE, J. F. E; ROSS, K. W. **Redes de computadores e a internet:** uma abordagem top-down. Tradução por Arlete Simille Marques, 3. ed. – São Paulo : Person Addison Wesleys, 2006. Tradução de: *Computer networking:A top-down approach featuring the internet.*

LACHAPELLE, G.; ALVES, P. Multiple reference station approach: overview and current research. **Journal of Global Positioning System**, v.1, n.2, p.133-136, 2002.

LANDAU, H.; VOLLATH, U.; CHEN, X. Virtual reference station systems**. Journal of Global Positioning System**, v.1, n.2, p.137-143, 2002.

LANGLEY, R. B. RTK GPS. **GPS World**. Santa Ana, v. 9, nº. 9, p. 70-76, 1998.

LEICA – ***GNSS Spider Software***. Disponível em: <http://www.leica-geosystems.com/corporate/%20en/products/gps_systems/lgs_4591.htm >. Acesso em: 08 Jul. 2009.

LEICK, A. **GPS –** satellite surveying. 3.ed. Hoboken, John Wiley & Sons, 2004. 431p.

MAREL, H. Van der. Virtual GPS reference stations in the Netherlands. In: ION GPS 1998, Nashville, Tennessee. **Proceedings…** 1998.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**: descrição, fundamentos e aplicações. 1.ed. São Paulo: Unesp, 2000. 287p.

______; **Posicionamento pelo GNSS**: descrição, Fundamentos e aplicações. 2.ed. São Paulo: Unesp, 2008. 473p.

PONTO DE REFERÊNCIA. **Vitória é mapeada em SIRGAS 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

RETSCHER, G. Accuracy performance of virtual reference station (VRS) networks. **Journal of Global Positioning System**, v.1, n.1, p.40-47, 2002.

RIZOS, C. Network RTK research and implementation - A geodetic perspective. **Journal of Global Positioning System**, v.1, n.2, p.144-150, 2002.

ROTURIER, B.; CHATRE, E.; VENTURA-TRAVESET, J. **The SBAS integrity concept standardised by ICAO: application to EGNOS.** In: ESA, EGNOS for Professionals, Publications, GNSS conference, Serville, Span, May. 2001.

RTCA - RADIO TECHNICAL COMMISSION FOR AERONAUTICAL SERVICES. **Minimum operational performance standards for Global Positioning System/** wide area augmentation system airborne equipment. DO-229D. Comitê Especial Nº 159, 2006.

RTCM - THE RADIO TECHNICAL COMMISSION FOR MARITIME SERVICES. Disponível em: <http://www.rtcm.org/overview.php> . Acesso em: 16 Jun. 2009.

RTCM - THE RADIO TECHNICAL COMMISSION FOR MARITIME SERVICES. **Recommended standards for differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems Service) –** Version 2.3. Comitê Especial RTCM Nº 104, 2001.

RTCM - THE RADIO TECHNICAL COMMISSION FOR MARITIME SERVICES. **Recommended standards for differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems Service) –** Version 3.0. Comitê Especial RTCM Nº 104, 2004.

RTCM - THE RADIO TECHNICAL COMMISSION FOR MARITIME SERVICES. **STANDARD 10403.1 for differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems Services) –** Version 3.1. Comitê Especial RTCM Nº 104, 2006.

SAATKAMP, E. D**. Desenvolvimento e experimentação de um formato para a transmissão de correções DGPS pelo RDS no Brasil**. 2003. 162f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba

SEEBER, G. **Satellite Geodesy**: foundations, methods, and applications. Berlin/New York: Walter de Gruyter, 2003.

SVERZUT, J. U. **Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS**: evolução a caminho da terceira geração (3G). São Paulo: Érica, 2005.

TANENBAUM, A.S. **Redes de computadores.** Tradução por: V. D. Souza. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.Tradução de: *Computer networks* 4th ed.

TALBOT, N.C. Compact data transmission standard for high-precision GPS. In: ION GPS 1996, Kansas City, Missouri, p.861-871, **Proceedings of**...1996.

______; Improvements in the Compact Measurement Record Format. 1997, Trimble User Conference, San Jose, p. 322-337 **Proceedings of**...1997.

TELECO – **Inteligencia em Telecomunicações**. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/glossario.asp?termo=WCDMA&Submit=OK>. Acesso em: 03 Jul. 2009.

TRIMBLE. **Trimble® R8 Series GPS Receivers.** Outubro de 2004.

______; **Trimble® GPSNet software and VRS software User Guide.** 2006.

______; **Trimble® GPS, guidance and precision agriculture solutions for all seasons, all crops,all terrains, all vehicles.** Portfolio 2010. Disponível em: < http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-376567/022503-078C-UK_Ag_Portfolio_BRO_0108_lr.pdf >. Acesso em: 01 Mai. 2010.

UNSW. **University of New South Wales, Sydney,** Australia. Disponível em: <http://www.gmat.unsw.edu.au/currentstudents/ug/projects/White/Print.html>. Acesso em: 08 Jul. 2009.

VOLLATH, U.; BUECHERL, A.; LANDAU, H.; PAGELS, C.;WAGNER, B. Multi-base RTK positioning using virtual reference station**.** ION GPS'2000 ***Proceedings***, p.123-131, 2000.

WANNINGER, L. The performance of virtual reference stations in active geodetic GPS-networks under solar maximum conditions**.** ION GPS, Nashville, Tennessee, p.1419-1427, ***Proceedings***… 1999.

______; **Virtual reference stations for centimeter-level kinematic positioning.** ION GPS, Portland, Oregon, p.1400-1407, Sept. 2002.

______; Ionospheric disturbance indices for RTK and network RTK positioning**.** ION GPS, Long Beach, California, p. 2849- 2854, ***Proceedings…*** 2004.

WARREN, H. S. **Hacher's Delight**. Boston: Addilson-Wesley, 2003.

ZHANG, K.; ROBERTS C. Network-based real-time kinematic positioning system: Current development in australia. In: Geoinformatics and Surveying Conference, 2003, The Institute of Surveyor, Malasia. ***Proceedings***…, 2003.

APÊNDICE A – Tempo de inicialização das ambiguidades

Neste apêndice constam os tempos de inicialização das ambiguidades de cada estação coletada, separados por dia, período e estratégias de coleta. Além do que, os tempos de inicialização foram calculados duas vezes para cada estratégia utilizada. Na Tabela A.1 são apresentados os tempos de inicialização computados na estação ASSE, distante 34,84 km da estação base PPTE.

O processamento da rede, necessário para gerar os dados da VRS utilizada no posicionamento para a estação ASSE, foi realizado sem as estações de referência NEIA, SPCA e UBAT desabilitadas no GPSNet.

Tabela A.1– Tempo transcorrido para cada inicialização feita na estação ASSE

Estação	Data	Período	Estratégia	Tempo de inicialização		Horário de início
				1º	2º	
ASSE	19/02/10	Manhã	VRS	7s	1s	9h39min
			VRS_S	6s	2s	9h51min
			RTK	6s	2s	9h30min
			RTK_S	14s	2s	10h3min
		Tarde	VRS	10s	5s	14h5min
			VRS_S	15s	16s	14h16min
			RTK	42s	1min 42s	14h27min
			RTK_S	10s	13s	14h41min
ASSE	20/02/10	Manhã	VRS	3min 4s	27s	8h1min
			VRS_S	53s	37s	8h17min
			RTK	5s	3s	8h29min
			RTK_S	3s	4s	8h42min
		Tarde	VRS	3s	32s	13h40min
			VRS_S	2min 4s	3s	14h8min
			RTK	1min 5s	4min 48s	13h0min
			RTK_S	3min 8s	3min 13s	13h20min

Na Tabela A.2 são apresentados os tempos de inicialização computados na estação ADAM, distante 60,77 km da estação base PPTE.

O processamento da rede foi realizado utilizando também as estações de referência NEIA, SPCA e UBAT.

Tabela A.2 – Tempo transcorrido para cada inicialização feita na estação ADAM

Estação	Data	Período	Estratégia	Tempo de inicialização		Horário de início
				1º	2º	
ADAM	20/11/09	Manhã	VRS	1min 45s	5s	7h15min
			VRS_S	8s	44s	7h35min
			RTK	8s	33s	7h51min
			RTK_S	13s	1min 33s	8h29min
		Tarde	VRS	1min 3s	10min 10s	14h48min
			VRS_S	3min 12s	5min 3s	15h19min
			RTK	1min 44s	1min 38s	15h41min
			RTK_S	2min 1s	14min 26s	15h57min
ADAM	21/11/09	Manhã	VRS	12min 11s	35s	7h39min
			VRS_S	5min 4s	6s	8h4min
			RTK	4min12s	3min 52s	7h5min
			RTK_S	1min13s	3s	7h33min
		Tarde	VRS	FC*	FC*	13h41min
			VRS_S	FC*	FC*	-
			RTK	56s	17s	12h45min
			RTK_S	10s	3s	14h58min

* Falha na conexão (problema na rede celular desta localidade).

Na Tabela A.3 são apresentados os tempos de inicialização computados na estação ASSI distante 64,97 km da estação base OURI.

O processamento da rede, necessário para gerar os dados da VRS utilizada no posicionamento, foi realizado sem as estações de referência NEIA, SPCA e UBAT, desabilitadas no GPSNet.

Tabela A.3 – Tempo transcorrido para cada inicialização feita na estação ASSI

Estação	Data	Período	Estratégia	Tempo de inicialização		Horário de início
				1º	2º	
ASSI	13/01/10	Manhã	VRS	2min 53s	8s	9h12min
			VRS_S	3min 40s	11min 6s	9h46min
			RTK	2min 45s	2min 23s	10h24min
			RTK_S	1min 25s	20s	10h38min
		Tarde	VRS	1min 10s	7min 20s	14h8min
			VRS_S	12min 53s	4min 50s	14h37min
			RTK	2min 37s	6min 40s	13h15min
			RTK_S	9min40s	6min11s	13h39min
ASSI	14/01/10	Manhã	VRS	5min 40s	8s	7h24min
			VRS_S	14s	19s	7h45min
			RTK	3min 6s	19s	7h57min
			RTK_S	13s	40s	8h13min
		Tarde	VRS	32s	19min 15s	14h50min
			VRS_S	8min 2s	NF*	15h28min
			RTK	2min 57s	1min 7s	16h25min
			RTK_S	1min 31s	10s	16h40min

* Não fixou as ambiguidades após 25 minutos de espera.

Na Tabela A.4 são apresentados os tempos de inicialização computados na estação TUPA, distante 84,13 km da estação base ARAC.

O processamento da rede, necessário para disponibilizar os dados da VRS utilizada no posicionamento, foi realizado utilizando também as estações de referência NEIA, SPCA e UBAT.

Tabela A.4 – Tempo transcorrido para cada inicialização feita na estação TUPA

Estação	**Data**	**Período**	**Estratégia**	**Tempo de inicialização**		**Horário de início**
				1º	**2º**	
TUPA	18/11/09	Manhã	VRS	7min 7s	6min 37s	7h26min
			VRS_S	43s	2min 3s	8h43min
			RTK	42s	23s	8h57min
			RTK_S	10s	2min 36s	8h1min
		Tarde	VRS	2min 27s	1min 2s	13h0min
			VRS_S	9min 51s	N F*	13h43min
			RTK	2min 10s	7min 0s	13h13min
			RTK_S	6min 35s	9min 30s	15h18min
TUPA	19/11/09	Manhã	VRS	6min 50s	3s	6h50min
			VRS_S	4min 8s	32s	7h57min
			RTK	1min 17s	2min 24s	7h26min
			RTK_S	5min 20s	4s	7h40min
		Tarde	VRS	1min 45s	SD**	13h2min
			VRS_S	SD**	SD**	-
			RTK	6s	1min 14s	12h45min
			RTK_S	7min 30s	27s	14h50min

* Não fixou as ambiguidades após 30 minutos de espera.
** A rede parou de disponibilizar os dados, pois, apresentou instabilidade nas estações (ROSA e OURI).

Na Tabela A.5 são apresentados os tempos de inicialização computados na estação PANO, distante 93,39 km da estação base PPTE.

O processamento da rede, necessário para gerar os dados da VRS utilizada no posicionamento, foi realizado sem as estações de referência NEIA, SPCA e UBAT desabilitadas no GPSNet.

Tabela A.5 – Tempo transcorrido para cada inicialização feita na estação PANO

Estação	**Data**	**Período**	**Estratégia**	**Tempo de inicialização**		**Horário de início**
				1º	2º	
PANO	2/12/09	Manhã	VRS	3s	60s	8h25min
			VRS_S	6s	6s	8h45min
			RTK	13s	3s	8h58min
			RTK_S	14s	9min 59s	9h18min
		Tarde	VRS	16min 4s	2min 4s	13h48min
			VRS_S	NF*	NF*	15h34min
			RTK	9min 10s	2min 11s	13h3min
			RTK_S	1min 11s	2min 15s	13h26min
PANO	3/12/09	Manhã	VRS	5s	6min 29s	9h2min
			VRS_S	12min 30s	7min 7s	9h19min
			RTK	2min 34s	1min 39s	8h37min
			RTK_S	25s	37s	8h51min
		Tarde	VRS	7min 37s	NF*	15h20min
			VRS_S	25min 50s	SA**	14h29min
			RTK	2min 5s	4min 1s	14h10min
			RTK_S	3min 11s	3min 48s	15h02min

* Não fixou as ambiguidades após 30 minutos de espera.
** Utilizou a solução anterior.
Obs.: Após as 15h30min a conexão celular ficou sem serviço durante 20 minutos.

Na Tabela A.6 são apresentados os tempos de inicialização computados na estação PANO, distante 93,39 km da estação base PPTE.

O processamento da rede, necessário para gerar os dados da VRS utilizada no posicionamento, foi realizado sem as estações de referência NEIA, SPCA e UBAT desabilitadas no GPSNet.

Tabela A.6 – Tempo transcorrido para cada inicialização feita na estação BATA

Estação	Data	Período	Estratégia	Tempo de inicialização		Horário de início
				1º	2º	
BATA	11/01/10	Manhã	VRS	6min 50s	5min 53s	10h11min
			VRS_S	25min 8s	3min 13s	10h33min
			RTK	6s	2min 3s	9h45min
			RTK_S	3min 9s	1min 1s	9h58min
		Tarde	VRS	9min 35s	10min 21s	15h34min
			VRS_S	4min 38s	SD*	16h37min
			RTK	12s	1min 10s	16h8min
			RTK_S	1min 43s	6min 22s	16h20min
BATA	12/01/10	Manhã	VRS	3min 30s	4min 13s	8h8min
			VRS_S	18s	1min 1s	9h45min
			RTK	4min 43s	16s	7h50min
			RTK_S	5min 57s	4min 4s	9h24min
		Tarde	VRS	6min 50s	37s	13h3min
			VRS_S	20min 30s	17s	13h24min
			RTK	NF**	23min 51s	13h54min
			RTK_S	8min 20s	12min 50s	14h51min

* Sem dados de rede.
** Não fixou a ambiguidade após 25 minutos de espera.

APÊNDICE B – Acurácia versus distância e I95

Neste apêndice são apresentados os valores de acurácia obtidos para todos os experimentos considerando a componente altimétrica. Cabe ressaltar que os valores de I95 adotam a nomenclatura referente ao nome da estratégia, foram utilizados diferentes horários para as diversas estratégias de processamento. Nas Figuras B.1 e B.2 são apresentados respectivamente os valores de EMQ e I95 para o segundo dia de experimento.

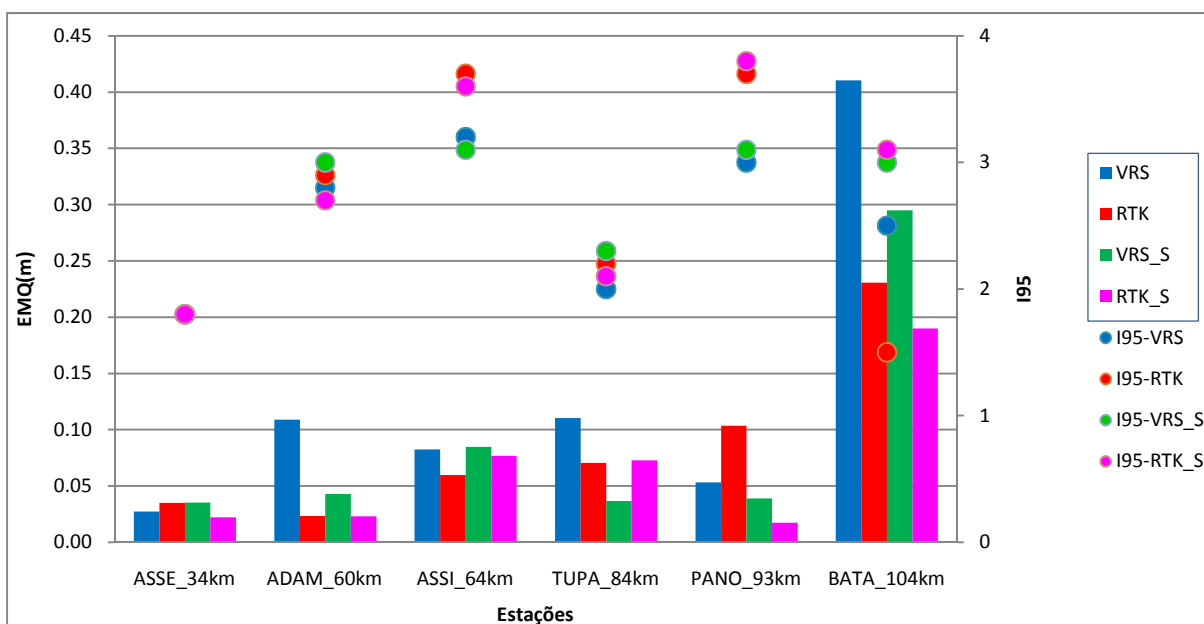



Figura B.1– EMQ obtido na componente altimétrica e os valores de I95 para período da manhã

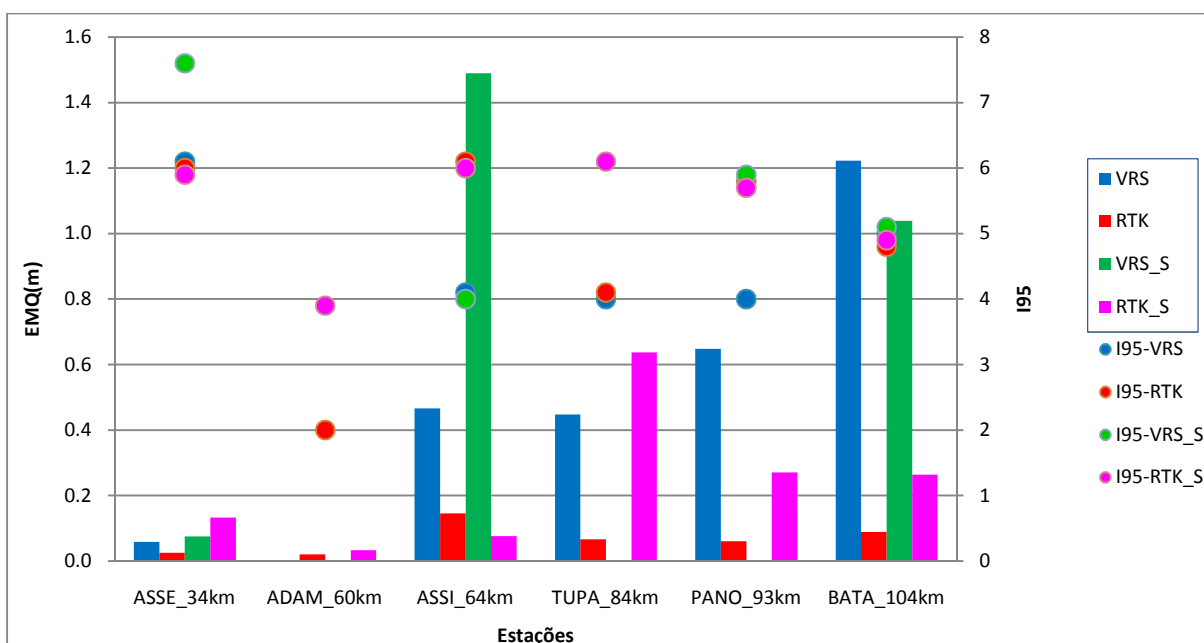



Figura B.2– EMQ obtido na componente altimétrica e os valores de I95 para período da tarde

APÊNDICE C – Valores de integridade (HPL e VPL)

Neste apêndice são apresentados os valores de HPL e VPL para as estações contidas dentro da área de abrangência da rede ADAM, ASSI e TUPA e externa a rede BATA. Nas Figuras C.1 e C.2 são apresentados respectivamente os valores de HPL e VPL obtidos na estação ADAM.

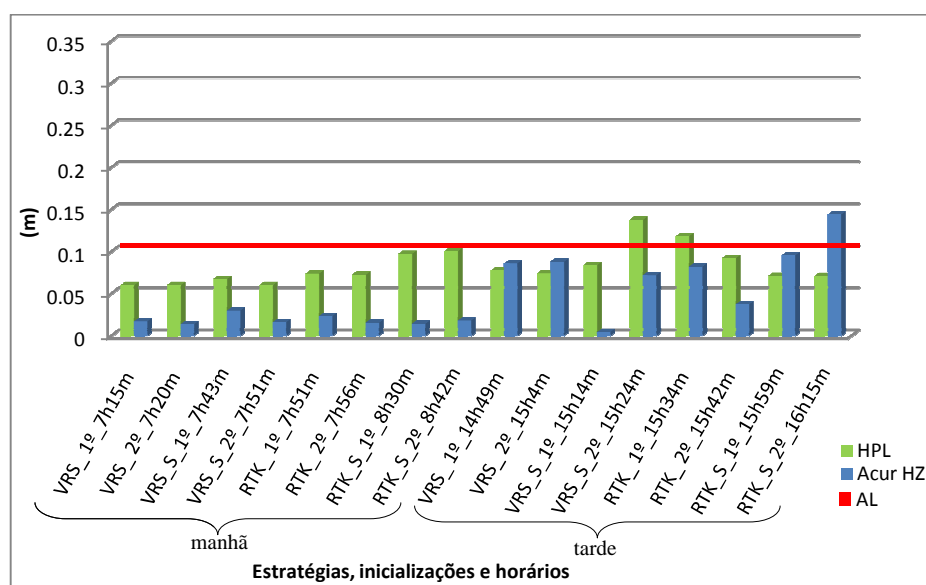



Figura C.1– Comparação entre os resultados de HPL e os erros obtidos na estação ADAM para o dia 21/11/2009

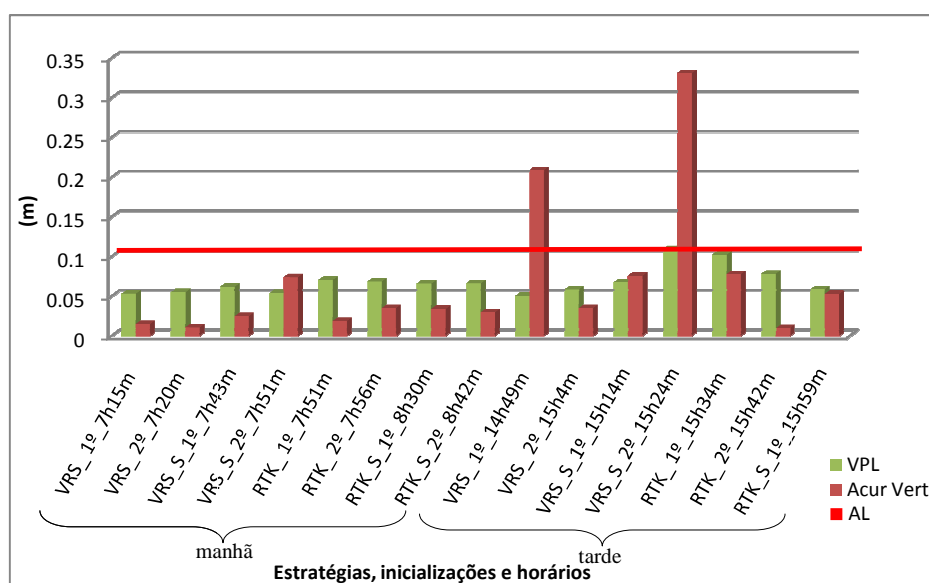



Figura C.2 – Comparação entre os resultados de VPL e os erros obtidos na estação ADAM para o dia 21/11/2009

As Figuras C.3 e C.4 apresentam os valores de HPL e VPL respectivamente, obtidos na estação ASSI.

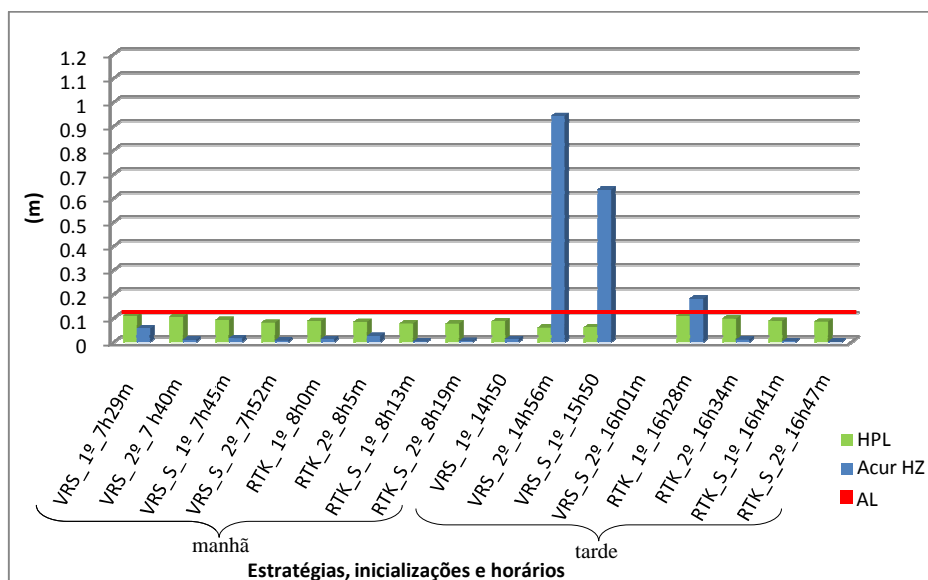



Figura C.3 – Comparação entre os resultados de HPL e os erros obtidos na estação ASSI para o dia 14/01/2010

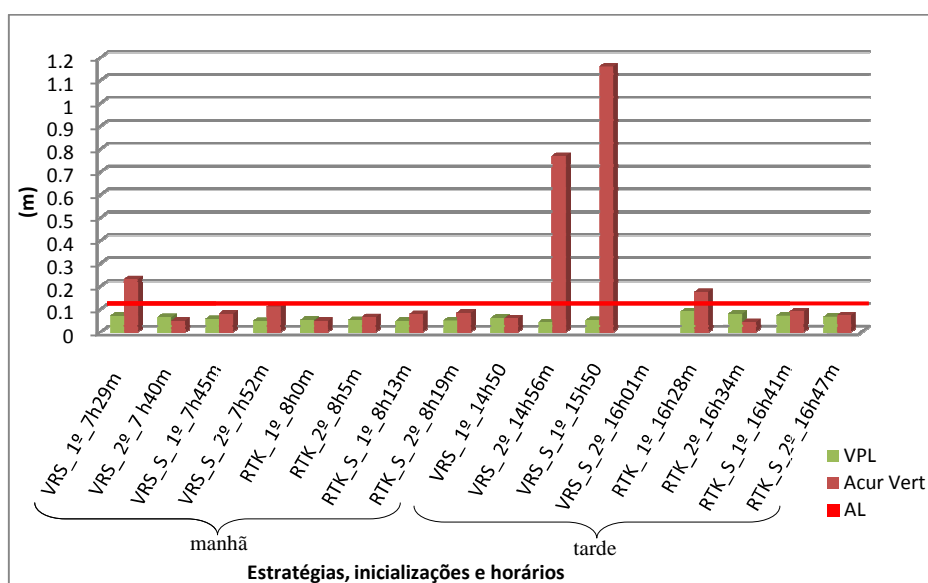



Figura C.4 – Comparação entre os resultados de VPL e os erros obtidos na estação ASSI para o dia 14/01/2010

A seguir são apresentadas as Figuras C.5 e C.6 com os valores de HPL e VPL obtidos na estação TUPA.

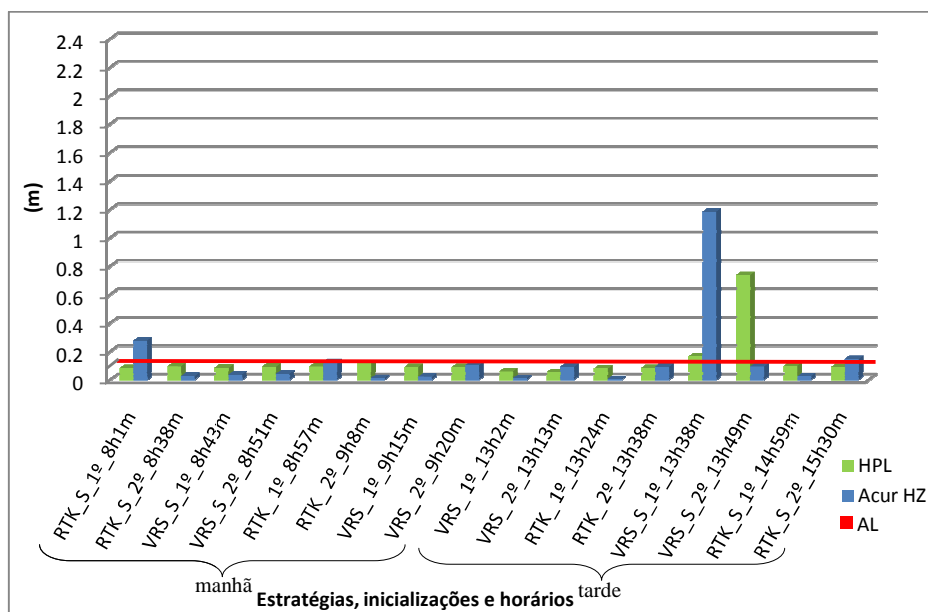



Figura C.5 – Comparação entre os resultados de HPL e os erros obtidos na estação TUPA para o dia 18/11/2009

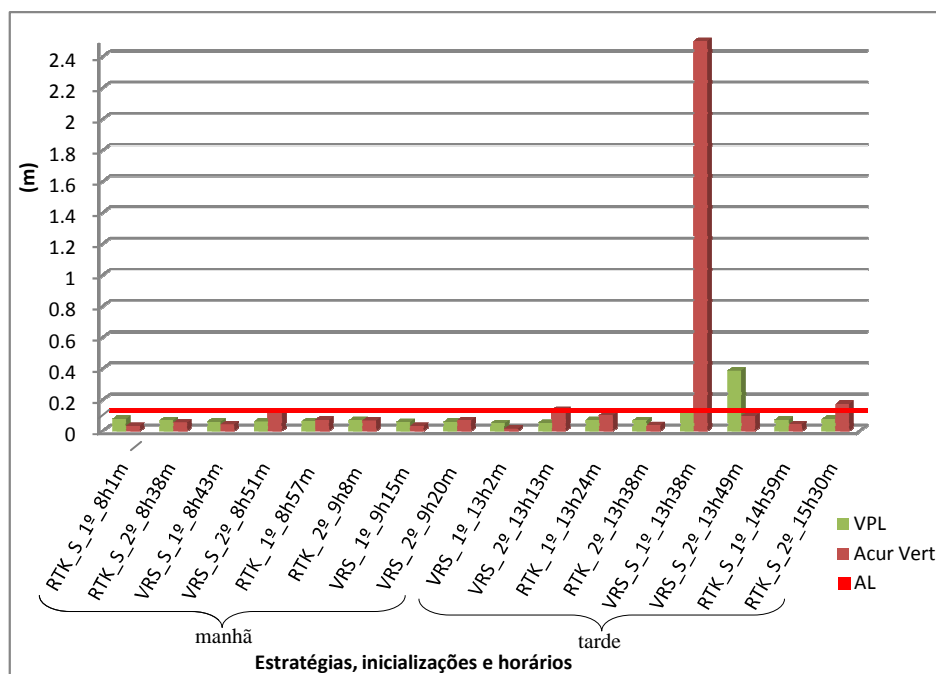



Figura C.6 – Comparação entre os resultados de VPL e os erros obtidos na estação TUPA para o dia 18/11/2009

Nas Figuras C.7 e C.8 são apresentados os valores de HPL e VPL, respectivamente, obtidos na estação BATA.

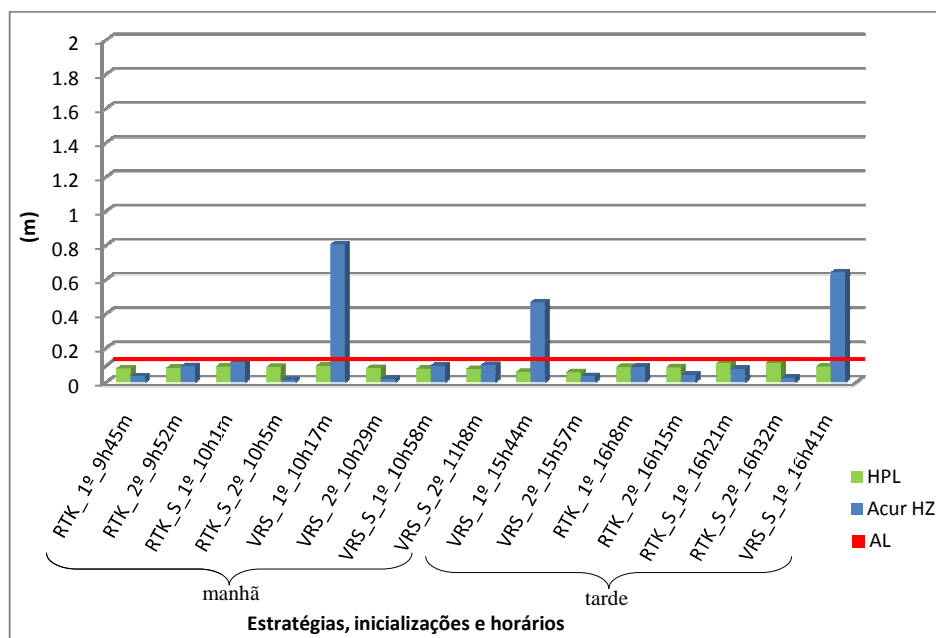



Figura C.7 – Comparação entre os resultados de HPL e os erros obtidos na estação BATA para o dia 11/01/2009

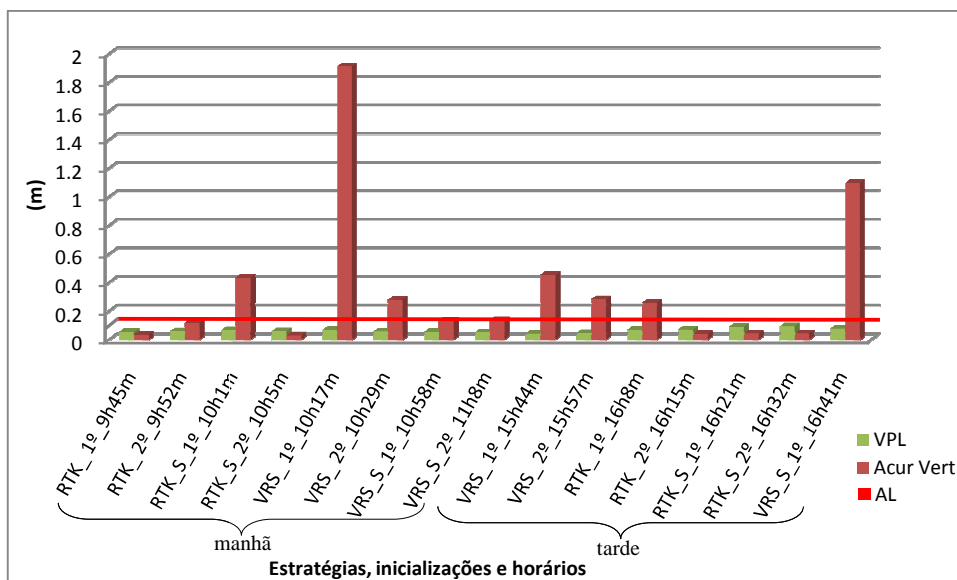



Figura C.8 – Comparação entre os resultados de VPL e os erros obtidos na estação BATA para o dia 11/01/2009